



Skovenes mulige rolle i klimapolitikken

En scenarioanalyse af CO₂-reduktionspotentiale

Anthon, Signe; Jacobsen, Jette Bredahl; Thorsen, Bo Jellesmark

Publication date:
2003

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):

Anthon, S., Jacobsen, J. B., & Thorsen, B. J. (2003). *Skovenes mulige rolle i klimapolitikken: En scenarioanalyse af CO₂-reduktionspotentiale*. Skov & Landskab, Københavns Universitet.



Skov & Landskab

Center for Skov,
Landskab og
Planlægning

Skovenes mulige rolle i klimapolitikken

***En scenarioanalyse af CO₂-reduktionspotentiale og
marginale økonomiske omkostninger***

Signe Anthon, Jette Bredahl Jacobsen og Bo Jellesmark Thorsen

Titel

Skovenes mulige rolle i klimapolitikken: En scenarioanalyse af CO₂-reduktionspotentialer og marginale økonomiske omkostninger

Forfattere

Signe Anthon, Jette Bredahl Jacobsen & Bo Jellesmark Thorsen

Serietitel og nr.

Arbejdsrapport nr. 50-2003 også publiceret på www.skovoglandskab.dk

Udgiver

Skov & Landskab (FSL)

Bedes citeret

Signe Anthon, Jette Bredahl Jacobsen & Bo Jellesmark Thorsen (2003): Skovenes mulige rolle i klimapolitikken: En scenarioanalyse af CO₂-reduktionspotentialer og marginale økonomiske omkostninger. Arbejdsrapport nr.50, *Skov & Landskab* (FSL), Hørsholm, 2003. 59s. ill.

Oplag

10 stk.

I salgs- eller reklameøjemed er eftertryk og citering af rapporten samt anvendelse af *Skov & Landskabs* navn kun tilladt efter skriftlig tilladelse.

Pris

110 kr. inkl. moms
Gengivelse er tilladt med tydelig kildeangivelse.

Rapporten (papirudgaven) kan bestilles på

www.skovoglandskab.dk

eller ved henvendelse til

Skov & Landskab (FSL)

Hørsholm Kongevej 11

2970 Hørsholm

Tlf. 45 76 32 00

E-post fsl@fsl.dk

*Skov & Landskab er et
center for forskning,
undervisning, formidling
og rådgivning vedr. Skov,
Landskab og Planlægning.
Centret er et forpligtende
samarbejde mellem tre
selvstændige institutioner:
Den Kgl. Veterinær- og
Landbohøjskole (KVL),
Forskningscentret for
Skov & Landskab (FSL)
og Skovskolen*

Indhold

INDHOLD	3
SAMMENDRAG	5
1. INDLEDNING	9
1.1 Skovenes potentielle rolle	9
1.2 Marrakesh-aftalen – en ramme for skovenes rolle	12
1.3 Metoder	13
2. SKOVREJSNING	15
2.1 Nuværende opsparing	15
2.2 Aktører og tilskudsordninger	16
2.2.1 Privat skovrejsning	16
2.2.2 Statslig skovrejsning	17
2.3 Scenarier for ekstra skovrejsningstiltag	17
2.3.1 Scenarium 1. Mindre, private skovrejsningsprojekter.	18
2.3.2 Scenarium 2. Store, bynære skove.	18
2.3.3 Scenarium 3. Store skove anlagt med henblik på miljø og natur.	19
2.4 Resultater	19
2.4.1 Effekterne på CO ₂ -ophobning og andre fysiske og biologiske forhold	19
2.4.2 Budgetøkonomiske resultater	20
2.4.3 Velfærdsøkonomiske omkostninger for CO ₂ -binding	21
2.4.4 Følsomhed over for ændrede forudsætninger	24
2.5 Diskussion af visse langsigtede aspekter og afledte effekter	25
2.5.1 Konsekvenser af ændret arealudnyttelse	25
2.5.2 Påvirkning af priser i øvrigt	25
2.5.3 Langsigtede effekter	26
3. BINDINGSPOTENTIALE I EKSISTERENDE SKOV	28
3.1 Nuværende dansk opsparing	29
3.2 Veje til øget opsparing i skov	29
3.3 Nogle danske scenarier på bevoksningsniveau	30
3.3.1 Scenarier	30
3.3.2 Resultater	31
3.3.3 Potentiale på nationalt plan	35
3.4 Konsekvenser på råtræmarkedet af en ændret drift	36
3.5 Andre muligheder for binding af CO ₂ i skov	37
3.6 Sammenfatning	37

4. BIOBRÆNDELSEL	39
4.1 Den internationale produktion af biobrændsel	39
4.2 Den danske produktion af biobrændsel	40
4.3 Potentiel CO ₂ -effekt ved øget brug af biobrændsel i Danmark	41
4.4 Overvejelser om omkostninger ved øget brug af træbrændsler	41
4.5 Sammenfatning	42
5. DE INTERNATIONALE MULIGHEDER	43
5.1 Clean Development Mechanism (CDM)	43
5.1.1 Skovrejsning under CDM	46
5.2 Joint Implementation (JI)	46
5.3 Handel med CO ₂ -kreditter	47
5.3.1 CO ₂ -priser	48
5.4 Sammenfatning	49
6. SAMMENFATTENDE KONKLUSION	50
6.1 Sammenstilling af resultater	50
6.2 Bullet-liste med pointer og perspektiver	53
7. REFERENCER	55

Sammendrag

Denne rapport har til formål at belyse kvantitative og samfundsøkonomiske aspekter af skovenes potentielle rolle som binder af CO₂ og producent af bioenergi i relation til dels Kyoto-processens nuværende stadie og dels mulige udviklinger i brugen af såkaldte sinks, her specielt lagring i eksisterende skove. Rapporten er blevet til i et samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen's Skovpolitiske kontor. Rapporten er finansieret af Skov- og Naturstyrelsen og *Skov & Landskab*. I det følgende præsenteres et sammendrag af resultaterne i rapporten.

Skovrejsning er et af de initiativer, der fuldgældigt accepteres i Kyoto-protokollen, også for den første periode. Eksisterende skovrejsning og skovrejsningsaktiviteter vil resultere i et optag på 0,28 Mt CO₂/år i den næste forpligtigelsesperiode, årene 2008-2012 voksende til 1,27 Mt CO₂/år, i 2040. Denne rapport har analyseret effekterne af et yderligere skovrejsningstiltag, der vil øge den samlede skovrejsning med 1.500 ha/år i 20 år fra 2002, i alt 30.000 ha. Effekten af tiltaget er en øget CO₂-binding på i gennemsnit 0,034 Mt CO₂/år i forpligtigelsesperioden 2008-2012, voksende til 0,380 Mt CO₂/år i 2040. Den velfærdsøkonomiske omkostning regnet i kr./t CO₂ bundet i dette scenario varierer meget på tværs af de underliggende projekttyper. Ved en rentefod på 6 % har et bynært projekt en negativ omkostning på -577 kr./t CO₂, mindre private projekter en omkostning på 555 kr./t CO₂ og et større naturorienterede projekt har en omkostning på hele 911 kr./t CO₂. Sidstnævnte er dog helt **sikkert** overvurderet grundet begrænset værdisætning af biodiversitetsgevinster og grundvandseffekter. Det samlede scenarium er sammensat som 1.000 ha af den private skovrejsning og 250 ha. af hver af de to andre typer skovrejsning. Dermed lander den velfærdsøkonomiske pris ved dette initiativ på i gennemsnit 426 kr./t CO₂. Den samlede mængde ekstra bynære skovrejsning indregnet i dette initiativ vil over perioden blive på 5.000 ha. Det vurderes derfor, at denne gennemsnitlige pris kan forbedres noget, såfremt Miljøministeriet målrettet forfølger strategien om at satse på bynær skovrejsning.

Et instrument, der ikke aktuelt er fuldt accepteret i henhold til Kyoto-protokollen er CO₂-binding i eksisterende skove. Binding i eksisterende skov går væsentlig hurtigere end ved skovrejsning, simpelthen grundet den hurtigere vækst. En række scenarier på bevoksningsniveau er analyset og eksempler på aggregerede tiltag er givet. En ændret drift i eksisterende skove vurderes i hvert fald at kunne give et potentiale på 0,6 Mt CO₂/år allerede i første forpligtigelsesperiode, over en længere tidshorisont vil potentialet dog falde. Den velfærdsøkonomiske omkostning vil variere med tiltagets art, men ligger i intervallet fra -244 til 265 kr./t CO₂. En betydelig del af tiltagene har en velfærdsøkonomisk omkostning tæt ved eller under 0 kr./t CO₂. Det skal understreges, at den CO₂-reducerende effekt ved ophobning i eksisterende skov ganske vist vil nå et højere niveau hurtigt, men også kan klinge hurtigere af når skovene er ved at indstille sig på det højere masseniveau. Til sammenligning svarer den årlige hugst på ca. 2 mio. m³ råtræ til en CO₂-mængde på 2,5 Mt/år. Det er altså tvivlsomt om det større samlede scenarium fra afsnit 3.3.3 kan betragtes som marginalt.

Såfremt brug af eksisterende skove i klimapolitikken i højere grad skal inddrages som et acceptabelt instrument, vil det være helt nødvendigt at udvikle en troværdig og monitorbar aftalestruktur. Det skal være muligt at indgå aftaler og kontrakter på landsni-

veau og/eller ejendomsniveau på en måde så det sikres, at der virkelig bliver tale om ekstraordinære tiltag, og så man om nødvendigt kan validere at disse tiltag finder sted og har den påståede effekt. Samtidig er det væsentligt at finde kontraktformer, der får løst den tilsyneladende forvirring (EU-kommisionen, 2003) omkring hvad der skal gøres når f.eks. en sink som en skovbevoksning afvikles. Det er væsentligt at forstå, at hvis man benytter sig af sinks i klimapolitikken skal fokus være på kun at kreditere CO₂-bindinger ud over det driftsøkonomisk optimale og kun at kreditere netto-bindingen da man ellers betaler for noget man ikke får. Der ses ofte forvirring om, hvordan det f.eks. skal håndteres hvis en skov etableres på landbrugsjord og siden fjernes for atter at bruge jorden til landbrug, eller hvis afdriften af en bevoksning udskydes, men i sidste ende alligevel effektueres. Skal skovejeren så betale penge tilbage, opkøbe CO₂-kreditter for at få lov til at fælde eller andet? Et simpelt eksempel i stil med dem i kapitel 3 kan illustrere hvordan problemet enkelt kan håndteres. Det er samme metode der er beskrevet i kapitel 1.3. Antag at en skovejer har en moden bevoksning på nogle hektar, hvor der er bundet i alt 1000 t CO₂. Bevoksningen er driftsøkonomisk afdriftsmoden. Forlænges omdriften med 10 år vil bevoksningen akkumulere 20 t CO₂ årligt således, at den ved det forsinkede endelige hugsttidspunkt rummer 1200 t CO₂. Gevinsten for samfundet, CO₂-mæssigt, ved denne ændring er, idet der ses bort fra den udskudte etablering af den meget CO₂-fattige ny-kultur og for konsistensens skyld regnes med en rente på 6%:

$$1.000 + \sum_{t=1}^{10} \frac{20}{(1+0.06)^t} - \frac{1.200}{(1+0.06)^{10}} = 477 \text{ t CO}_2$$

Denne gevinst opstår ved, at der i en periode bindes mere CO₂ på arealet og ved at 'udslippet' udskydes. Det ses, at de 1200 t CO₂ indgår med et negativt fortegn. De skal altså modregnes skovejeren i hans kompensation. Det kontraktlige forhold mellem skovejeren og samfundet eller andre aktører kan indrettes på flere måder. Staten kan udregne den viste størrelse og forhandle med skovejeren om prisen. Skovejeren skal mindst have hans oplevede driftsøkonomiske tab ved tiltaget, og i praksis vil han kræve en pris tæt på CO₂-kreditprisen, hvis der eksisterer en sådan markedspris. Man kunne også forestille sig, at skovejeren tildeles retten til at udstede et CO₂-kreditbevis på 1000 t CO₂, som han ved den driftsøkonomiske omdriftsalder kan sælge på et evt. marked. De efterfølgende år kan han sælge beviser på 20 t CO₂, men i det 10. år skal han ud og *købe* beviser for 1200 t CO₂ for at få retten til at fælde bevoksningen tilbage. I mellemtiden har han tjent renter på de solgte beviser. Som det ses er der mange måder at indrette det kontraktuelle på. Det ses også, at det er oplagt, at skovejeren ved en reduktion i sinks skal betale for dette. Det vigtigste problem i dette eksempel er troværdighed og kontrol: Hvordan sikres det, at der ikke betales for ingenting – f.eks. skal det sikres, at man ikke godskrifter driftsøkonomisk optimale tiltag en særskilt CO₂-effekt. Det indebærer f.eks., at omdriftsforlængelser skal have en vis varighed og ikke kan regnes for påbegyndt før det med overvejende rimelighed kan regnes for sikkert, at yderligere forlængelser indebærer et driftsøkonomisk tab.

Både brug af skovrejsning og eksisterende skove som sinks er tiltag, der kan reducere netto-udslippet i Danmark på kort til mellemlang sigt, men som ikke kan reducere udslippet permanent. Det kan imidlertid være velfærdsøkonomisk fornuftigt at benytte sig af mulighederne her, såfremt de kan leveres til en acceptabel pris. Samfundet sparer

dermed midler nu, og vinder tid til at finde nye og mere effektive metoder til en permanent reduktion af CO₂-udslippet.

De danske skove leverer allerede i dag træ til bioenergi, og der er for nylig lavet en opgørelse af de fremtidige træressourcer tilgængelige til evt. øget bioenergiproduktion. Der er her tale om en substitutionseffekt, der for så vidt kan være permanente. Træ til bioenergi fortrænger som udgangspunkt fossile brændsler, og da det bundne CO₂ naturligt ville frigives til atmosfæren under alle omstændigheder – evt. med en forsinkelse – er bioenergien i store træk CO₂-neutral. Afhængig af hvilket udnyttelsesniveau, der i fremtiden kan og vil blive tale om er potentialet for substitution af fossile brændstoffer med træ fra danske skove estimeret til at være omkring 0,4-0,7 Mt CO₂/år. Den velfærdsøkonomiske omkostning ved en så stor forøgelse er ikke anslået i denne rapport. Estimer for marginale forøgelser i retningen af såvel brug af større sortimenter som brug af mindre sortimenter indikerer, at en vis forøgelse kan foretages stort set omkostningsfrit. Ved en større forøgelse vil brug af dansk træ blive dyrt, da de større sortimenter har væsentlig større marginal produktionsværdi i andre anvendelser. Der foregår imidlertid allerede en konkurrencedygtig import af råtræprodukter til bioenergi, og denne kan antageligt forøges for beskeden omkostninger. De ekstra CO₂-udslip ved skibstransport over selv længere afstande er forsvindende i forhold til substitutionseffekten i energisektoren.

Tabel 6.1 sammenfatter bidraget fra de forskellige tiltag beskrevet i denne redegørelse. De lave estimer vedrører potentialet for første forpligtelsesperiode, mens de høje estimer er den maksimale præstation indenfor perioden 2002-2040 givet de valgte scenarier. Dette gælder dog ikke for tiltag i eksisterende skov hvor potentialet er aftagende over tid. Det er med vilje ikke angivet omkostninger i denne tabel fordi som beskrevet varierer meget med det valgte tiltag og for visse tiltag kun er bestemt som marginale omkostninger. Til sammenligning er det samlede mål på 25 Mt CO₂/år som Regeringen opgør den årlige CO₂-udledning endnu skal reduceres med (Finansministeriet *et al.*, 2003) indføjet. De danske skove kan, afhængig af hvilke tiltag der gennemføres, afbøde 4-10% af denne målsætning. Det kan ske relativt billigt for de første dele af denne ophobning, men omkostningerne kan stige drastisk med ambitionerne.

Tabel 1.1 Skematisk oversigt over potentiale ved gennemførelse af de udvalgte scenarier. For øget biobrændsel og øget skovrejsning gælder estimer for første forpligtelsesperiode, mens høje estimer angiver tiltagets toppræstation indenfor de nærmest 40 år. Det omvendte er tilfældet for eksisterende skov hvor effekten er størst i begyndelsen.

Art	Reduktions-interval
Samlet reduktionsbehov i Danmark	25 Mt CO ₂ /år
Skovrejsning, aktuelt aktivitetsniveau	0,28-1,27 Mt CO ₂ /år
Nye tiltag	
Øget skovrejsning	0,034-0,38 Mt CO ₂ /år
Øget ophobning i eksisterende skov	0,2 – 0,6 Mt CO ₂ /år
Øget brug af biobrændsel	0,4 – 0,7 Mt CO ₂ /år
I alt nye tiltag	0,6 - 1,5 Mt CO₂/år
I alt potentiale fra danske skove	0,8 - 2,7 Mt CO₂/år

Udover mulighederne for at benytte danske skove som sinks eller anvende bioenergi i Danmark eksisterer der muligheder for at reducere CO₂-udslippet ved at gennemføre projekter i udlandet i stedet, evt. også gennem skovrelaterede projekter eller bioenergi-projekter. Reduktioner opnået gennem sådanne aktiviteter kan i et vist omfang indgå i det nationale regnskab. Derudover eksisterer der en mulighed for at købe såkaldte CO₂-kreditter fra de lande der har fået tildelt større kvoter end deres aktuelle udslip nødvendiggør. Det er oplagt at potentialet her er meget stort. Eksisterende internationalt tilgængelige litteratur vedrørende omkostningerne ved sådanne projekter indikerer til og med at tilsyneladende kan være relativt billigt at gennemføre sådanne reduktioner. Praksis er dog endnu bagud i forhold til de hypotetiske analyser af potentialer. Den praktiske brug af denne form for aftaler hænger – i tråd med brug af eksisterende skove i Danmark – på udviklingen af troværdige, kontrollerbare og acceptable aftale-strukturer. Fraværet af disse er en af forklaringerne på, at det af det foreliggende forslag til direktiv om en ordning for handel med kvoter for drivhusgasemissioner i Fællesskabet, for så vidt angår Kyoto-protokollens projektmekanismer (EU-Kommisionen 2003) fremgår, at EU ikke vil acceptere at CDM eller JI projekter, der er rettet mod brug af sinks godskrives EU's medlemsstater, med mindre de indgås mellem-statsligt. Dermed begrænses skovrelaterede JI og CDM-projekter udført af EU-lande i nogen grad til projekter indenfor bioenergiområdet.

1. Indledning

Denne rapport har til formål at belyse kvantitative og samfundsøkonomiske aspekter af skovenes potentielle rolle som binder af CO₂ og producent af bioenergi i relation til dels Kyoto-processens nuværende stadie og dels mulige udviklinger i brugen af såkaldte sinks, her specielt lagring i eksisterende skove. Rapporten er blevet til i et samarbejde med Skov- og Naturstyrelsen's Skovpolitiske kontor. Rapporten er finansieret af Skov- og Naturstyrelsen og *Skov & Landskab* (FSL).

I denne indledning gennemgås kort skovenes principielle og potentielle rolle i klimaforandringerne som de i dag beskrives af de ledende internationale institutioner på området. Derudover udpeges og fortolkes de centrale internationale aftaler, der i dag regulerer brugen af sinks i klimapolitikken. Det drejer sig helt konkret om to artikler, art. 3.3 og art. 3.4, i Kyoto-protokollen som er yderligere behandlet i den såkaldte Marrakesh-aftale. Endelig præsenteres kort de forskelle metoder anvendt i klimapolitiske analyser, herunder også den metode som hovedparten af denne rapport anvender.

I efterfølgende kapitler behandles aspekter af de mulige budget- og velfærdsøkonomiske konsekvenser ved forskellige tiltag, der kan øge optaget i de danske skove, såvel de nye (kapitel 2) som de eksisterende skove (kapitel 3). Derudover belyser vi i kapitel 4 de potentielle muligheder for en øget produktion af træ til biobrændsel i de danske skove, og hvad de i givet fald kan indebære af CO₂-fortrængning. I rapportens kapitel 5 gennemgås kort Kyoto-protokollens internationale instrumenter, specielt i relation til skovområdet.

Det skal understreges, at der for de økonomiske analysers vedkommende i alle tilfælde er tale om partielle analyser, der med andre ord tager udgangspunkt i, at ændringerne i driften ikke medfører ændringer, der har betydning for prissætningen på nogle af de involverede faktor- eller output-markeder. Hvis man forestiller sig f.eks. produktion af træ til bioenergi eller reduceret hugst i eksisterende skove gennemført i meget stort omfang, virker det sandsynligt, at det kan påvirke de nationale priser på visse faktor- og output-produkter; i hvert fald på kort til mellemlang sigt. Analyser af de samfundsøkonomiske konsekvenser af så omfattende indgreb foretages bedre gennem anvendelse af egentlige ligevægtsmodeller, med en mere detaljeret modellering af en sektor, skovbruget og følgeindustrier. Udviklingen og anvendelsen af sådanne modeller ligger udover denne rapports formål, men alligevel kan de præsenterede resultater anvendes som indikative for såvel marginale som større tiltag.

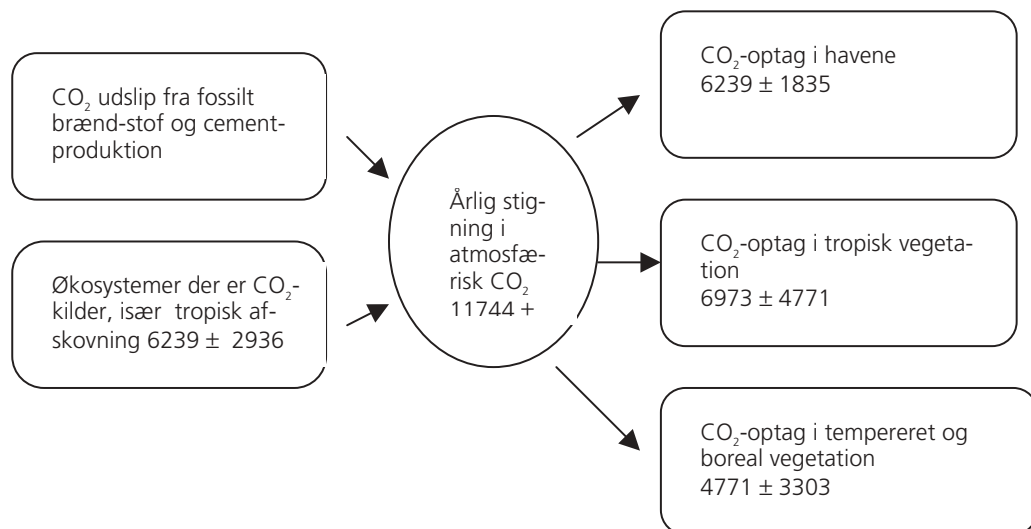
1.1 Skovenes potentielle rolle

Siden år 1800 er koncentrationen af CO₂ i jordens atmosfære steget fra ca. 280 ppm til ca. 370 ppm. Stigningen i CO₂ koncentrationen er sammenfaldende med den vestlige verdens industrialisering og meget tyder på at stigningen skyldes menneskelige aktiviteter. Drivhuseffekten skyldes, at CO₂ og andre drivhusgasser mindsker varmeudstrålingen til rummet, og den fører i teorien til en global opvarmning af jordens atmosfære (Royal Society, 2001). Selv om der stadig er en del usikkerhed om hvor stor en klimaforandring vi kan vente os i fremtiden, er der mange undersøgelser der peger på, at en sådan opvarmning er sandsynlig. En global opvarmning vil sandsynligvis føre til mange – nogle betydelige – forandringer i leveforholdene overalt på jorden, da den

vil påvirke økosystemers balance og føre til f.eks. stigninger i vandstanden i verdenshavene på grund af en afsmeltning af polarkapperne.

For at modarbejde denne globale opvarmning godkendte FN's rammekonvention for klimaforandringer (UNFCCC) i 1997 Kyoto-protokollen, hvis mål er at reducere CO₂-udslippet fra I-lande (de såkaldte Annex I lande). Den første forpligtigelsesperiode blev fastlagt til 2008-2012, hvor målet er en reduktion på 5% i forhold til 1990 niveauet. Kyoto-protokollen lægger vægt på, at reduktionen først og fremmest skal ske i form af et mindre forbrug af fossile brændstoffer. Alligevel åbner Kyoto-protokollen op for, at økosystemers nettooptag kan medregnes i de nationale reduktioner (UNFCCC 1997). Skoves optag af CO₂ gennem fotosyntese giver mulighed for at mindske CO₂-koncentrationen i atmosfæren. Kyoto-protokollens artikel 3.3 og 3.4 beskriver mulighederne for at medregne ændringer i arealudnyttelse og skovforvaltning, der skyldes direkte menneskelig handling. Under artikel 3.3 er mulighederne begrænset til den rydning af skov (source) og skovrejsning (sink), der er foregået siden 1990. Artikel 3.4 giver i nogen grad mulighed for at medregne andre menneskeinducerede ændringer i økosystemer, såsom ændringer i landbrugspraksis, skovforvaltning og andre ændringer i arealudnyttelsen end skovrejsning og afskovning. Ligesom artikel 3.3 er der kun mulighed for at medregne ændringer siden 1990. De to artikler gennemgås i lidt større dybde nedenfor. Kyoto-protokollen åbner ligeledes mulighed for at udnytte internationale tiltag til at opfylde den nationale målsætning. JI-projekter (Joint Implementation, artikel 6 i Kyoto-protokollen) er projekter, der gennemføres i andre Annex I lande, og hvor landene deler CO₂-reduktionen mellem sig. CDM (Clean Development Mechanism, artikel 12 i Kyoto-protokollen) er projekter gennemført i u-lande, hvor Annex I landet får CO₂-kvoterne, der skabes gennem et givent projekt. Projekter der øger CO₂-optaget i skove eller andre økosystemer kan gennemføres både som JI- og CDM-projekter.

Men hvad er så skovenes internationale og nationale potentiale som CO₂-sinks? Der er lavet en række undersøgelser af de terrestriske økosystemers CO₂-balance, men der er en lang række usikkerheder forbundet med disse. Figur 1.1 viser den globale CO₂-balance ud fra forskellige opgørelsesmetoder. Det ses at økosystemer på landjorden udgør en væsentlig kilde til såvel CO₂-udslip som optag, og at der er stor usikkerhed om størrelsen af begge. Uligevægten i øjeblikket skyldes primært, at den hurtige afskovning i tropen overstiger væksten i den samlede skovbiomasse på den nordlige halvkugle. Den voksende biomasse i især de tempererede skove skyldes primært en skæv aldersklassestruktur, men en vækst i det samlede skovareal spiller også en rolle. Desuden øges den samlede vækst pga. højere koncentration af CO₂ og nitrogenoxider i atmosfæren, der virker som gødning (Watson *et al.* 2000). Op igennem 1990'erne har de terrestriske økosystemer inkl. skove samlet optaget 5505 ± 2569 Mt CO₂/år. Til sammenligning refererer Royal Society (2001) at afbrænding af fossilt brændstof har ført til emission af 23488 ± 1468 Mt CO₂/år, så nettooptaget i skovene svarer til 23 % af det årlige udslip fra fossilt brændstof.



Figur 1.1 Estimat af den globale carboncyklus. Tallene stemmer ikke 100 % overens, da de stammer fra forskellige kilder. Alle tal er i Mt CO₂/år. Figur fra Royal Society 2001.

Dette netto-optag vil sandsynligvis ikke af sig selv fortsætte på længere sigt. Under forudsætning af en nogenlunde stabil arealanvendelse virker det sandsynligt, at de forskellige økosystemer vil indgå i en form for dynamisk ligevægt, hvor netto-optaget set over en kortere eller længere cyklus vil være omtrent nul.

Der vil imidlertid være flere muligheder for at sikre at de terrestriske økosystemer fortsat kan udgøre en sink, såfremt dette er ønskeligt: 1) Afskovningen i troperne kan standses eller i det mindste forsinkes. Afskovningen i troperne udgør aktuelt en CO₂-kilde på anslået 6239 Mt CO₂/år. 2) Optaget i boreale, tempererede og tropiske økosystemer kan i et vist omfang øges bevidst gennem konkrete forvaltningstiltag. Disse skove udgør i øjeblikket en sink på anslået 11744 Mt CO₂/år. 3) Omlæggelse af landbrugsdriften. 4) Produktionsøgning af bioenergi som substitut for afbrænding af fossilt brændstof (Royal Society, 2001).

IPCC har estimeret det maksimale potentiale ved disse ekstra tiltag til at være mellem 5615 og 9065 Mt CO₂/år (jf. Royal Society, 2001). Mere end 50 % af dette potentiale ligger i de tropiske lande, enten ved en langsommere skovrydning, agroforestry, eller en aktiv etablering af skov enten som forceret succession eller tilplantning. Til sammenligning udgør de tempererede skove kun 13 % af det samlede potentiale (Royal Society, 2001). Derfor spiller CDM globalt set en hel central rolle, hvis skove og andre økosystemers potentiale for CO₂-optag skal udnyttes. Bemærk, at udover den øgede brug af biomasse til energi er dette mulige ekstra optag en endelig beholdningsstørrelse og ikke en årlig binding, der kan påregnes, i princippet, uendeligt. Bemærk også, at der ikke findes opgørelser eller betragtninger over hvilken velfærdsmkostning i øvrigt verdenssamfundet vil påføre sig ved at gennemføre hele eller dele af denne forcerede ophobning eller udvidelse af bioenergiforbruget.

Så vidt en oversigt over de internationale muligheder og skovenes principielle rolle. I to senere centrale kapitler i denne rapport belyses mulighederne og de samfundsøkonomiske omkostninger ved at gennemføre forskellige former for tiltag til yderligere CO₂-ophobning i de danske skove – gennem tiltag i såvel eksisterende skov som ved

skovrejsning. Derudover belyses de potentielle muligheder for at øge produktionen af træ til bioenergi fra de danske skove. Aktuelt er det, som allerede indikeret ovenfor, kun visse tiltag og visse former for ophobning, der godskrives i forhold til Kyoto-processen. Disse er beskrevet i den såkaldte Marrakesh-aftale, der gennemgås nedenfor.

1.2 Marrakesh-aftalen – en ramme for skovenes rolle

Centrale for spørgsmålet om skovenes rolle som lager for CO₂ er de to artikler 3.3 og 3.4 i Kyoto-protokollen (UNFCCC, 1997). Ifølge disse to artikler kan visse former for ophobning medregnes i de såkaldte Annex I landes bestræbelser på at nå deres individuelle målsætninger:

Kyoto-protokollen art. 3.3:

”The net changes in greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks resulting from direct human-induced land-use change and forestry activities, limited to afforestation, reforestation and deforestation since 1990, measured as verifiable changes in carbon stocks in each commitment period, shall be used to meet the commitments under this Article of each Party included in Annex I...”

Kyoto-protokollens art. 3.4:

”...The Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to this Protocol shall, at its first session or as soon as practical thereafter, decide upon modalities, rules and guidelines as to how, and which, additional human-induced activities related to changes in greenhouse gas emissions by sources and removals by sinks in the agricultural soils and the land-use change and forestry categories shall be added to, or subtracted from, the assigned amounts for the Parties included in Annex I, taking into account uncertainties, transparency in reporting, verifiability... Such a decision shall apply in the second and subsequent commitment periods. A Party may choose to apply such a decision on these additional human-induced activities for its first commitment period, provided that these activities have taken place since 1990.”

De nærmere regler for og begrænsninger i brugen af sinks beskrives på de løbende konferencer mellem parterne (COP). Brugen af art. 3.3 og 3.4 blev således behandlet under COP 7, hvor det blev konferencen besluttet, at følgende principper lægges til grund for brugen af art. 3.3 og 3.4 (beslutning 11, 1 i Marrakesh-aftalen (UNFCCC, 2001):

- a) At behandlingen af dem i Kyoto-protokol-sammenhæng baseres på videnskabelig viden.
- b) At der skal bruges konsistente metoder til estimation og rapportering af disse sinks.
- c) At det overordnede mål med Kyoto-protokollen (art. 3.1) ikke må ændres på grund af brug af 3.3 og 3.4.
- d) At det ikke er muligt at medregne eksistensen af sinks, men udelukkende ændringer af disse
- e) At implementering af art. 3.3 og 3.4 skal medvirke til beskyttelse af biodiversitet og bæredygtig udvikling af naturressourcer.
- f) At det ikke er muligt at overføre sinks fra den ene forpligtelsesperiode til den næste.

- g) At CO₂-optag der en gang er medregnet i en forpligtigelsesperiode skal modregnes, hvis der senere sker udslip fra samme kilder.
- h) At beregning af sinks udelukker CO₂-optag der skyldes: i) CO₂-niveau over det præindustrielle niveau, ii) indirekte nitrogendeposition og iii) optag der skyldes en skæv aldersklassefordeling, eller aktiviteter og praksiser fra tidligere år.

Desuden opstiller Marrakesh-aftalen (UNFCCC, 2001) en grænse for art. 3.4 i første forpligtigelsesperiode. For Danmark er denne grænse på 0,183 Mt CO₂ pr. år i forpligtigelsesperioden for så vidt angår eksisterende skov. Derudover skal det for eksisterende skov påpeges at vendingen 'human-induced', der anvendes i art. 3.3, sandsynligvis skal tolkes relativt konservativt. Der skal efter alt at dømme være tale om netto-bindinger udover de, der skyldes svingninger i biomassen forårsaget af naturlige biologiske og/eller økonomiske forhold. Der er derimod ingen grænser for, hvor meget af CO₂-optaget fra skovrejsningen efter 1990, der kan regnes med.

1.3 Metoder

Der findes forskellige metoder til opgørelse af ændringer i carbon puljen ved ændret arealanvendelse. En hyppigt anvendte metode kaldes stock change metoden, som består i at estimere forskellen i carbon puljen mellem projektet og dets basislinje scenarium til et givet tidspunkt i projektforløbet (Watson et al. 2000). Problemet med denne metode er, at resultatet afhænger meget af til hvilket tidspunkt estimatet foretages, ligesom der ikke tages hensyn til om projektets gevinster falder tidligt eller sent i projektforløbet.

Average storage metoden løser dette problem ved at bestemme den gennemsnitlige årlige gevinst ved et givet projekt (Watson et al. 2000).

$$\text{Average net carbon storage} = \frac{\sum_{t=0}^{t=n} (\text{carbon stored in project} - \text{carbon stored in baseline})}{n}$$

t er tid

n er projektets levetid

Denne metode tager ikke hensyn til tidspunktet for projektets gevinster, men antager en jævn fordeling over hele projektets levetid. Metoden forudsætter, at der ikke eksisterer en tidspræference mht. hvornår projektets gevinster indtræder. Dette er en urealistisk antagelse, idet den betyder, at omverdenen er indifferent mht. om reduktionen i CO₂-emission opnås i dag eller om hundrede år.

I **discounted flux** metoden anvendes en diskonteringsrate til at beregne nutidsværdien af den løbende reduktion i CO₂-emission over et projekts levetid (Watson et al. 2000).

$$\text{Present value of carbon storage} = \sum_{t=0}^{t=n} (\text{carbon stored in project} - \text{carbon stored in baseline}) / (1+r)^t$$

Baggrunden for denne metode er at 1) Hvis hastigheden af klimaforandringerne ned-sættes vil biotoperne måske bedre kunne nå at følge med, 2) Et naturvidenskabelige argument: Drivhusgasser nedbrydes i atmosfæren, omend forskel i nedbrydningshastigheden gør dem vanskeligt sammenlignelige. Derfor skal bindingen i skov gerne modsvare den tid, gassen ville have miljømæssige konsekvenser i atmosfæren. Denne ækvivalensperiode anslås til at være 55 eller 100 år (Dutschke, 2001), 3) Et miljøøkonomisk argument: En langsommere vækst i udledning af drivhusgasser kan mindske omkostningerne. Dette bygger på en antagelse om, at der eksisterer en positiv diskonteringsrente, så fremtidige udslip har mindre omkostninger end nutidige. Det primære argument for at anvende en positiv diskonteringsrente for CO₂ er det samme som for almindelige økonomiske tal: Det er muligt at foretage alternative investeringer som kan mindske CO₂-udslippet. Dertil kommer antagelser om at de fremtidige generationer bedre vil kunne håndtere klimaforandringer f.eks. i kraft af bedre udviklet teknologi, at omkostningerne ved at begrænse udslippet i fremtiden ikke vil være større end i dag og desuden at der er en simpel tidspræference for nutidens befolkning, der foretrækker udsættelse af omkostninger og realisering af indtægter nu fremfor ud i fremtiden, 4) Et teknologisk argument: En typisk positiv, teknologisk synsvinkel er at vi i fremtiden vil have opfundet energiformer, der ikke bygger på fossilt brændstof og derfor kan mindske udslippet af den vej. Under disse antagelser er det altså en mulighed at reducere problemet med CO₂-udledning ved at udskyde det.

En anden mulighed er at beregne den miljømæssige værdi af en udsættelse af emissionen, dvs. en **ækvivalens**tid. Efter en ækvivalensperiode svarer værdien af et ton bundet CO₂ til den miljømæssige værdi af en permanent reduktion grundet organismers henfaldstid (svarer til det naturvidenskabelige argument i toppen af afsnittet). Estimaterne for en sådan ækvivalensperiode varierer mellem 55 og 100 år (Wilson *et al* 2000, Dutschke, 2001). Projektperioden må nødvendigvis være længere, da det sidste bundne CO₂ også skal sikres i hele ækvivalensperioden. Hvis skoven opnår biomasseligevægt efter 25 år vil bindingsperioden være 80-125 år.

For at operationalisere denne metode skulle COP bestemme en ækvivalensperiode. Denne kunne være Global Warming Potential (GWP) på 100 år, som i forvejen bruges til at sammenligne forskellige drivhusgasser. Problemet for lagring i skov vil dog være, at der vil dannes meget få CO₂-kreditter pr. år i tempererede egne, i forhold til de tropiske landes hurtige tilvækst. Det fulde potentiale vil derfor først blive realiseret længe efter skoven har opnået sin ligevægt. Dette vil mindske den økonomiske bæredygtighed af projektet. Desuden vil metoden føre til meget lange bindingstider set i et politisk og planlægningsmæssigt perspektiv. Fordelen ved metoden er dog at den er konsistent i forhold til miljøvirkningen, samt at der er taget højde for usikkerheden ved at projektet mislykkes. Desuden svarer CO₂-kreditterne fuldstændig til kreditter fra andre typer projekter.

Som ovenstående viser benyttes forskellige metoder på forskellig vis. I denne redegørelse benyttes discounted flux metoden samt stock change metoden og resultaterne diskuteres med baggrund i metodernes begrænsninger. Dette svarer til hvorledes CO₂-kvoterne forventes at blive prissat.

2. Skovrejsning

Som nævnt i indledningen sætter Marrakesh-aftalen ingen grænser for hvor meget CO₂ bundet igennem skovrejsningsprojekter, der kan medregnes – blot projektet er implementeret efter 1990. Under de danske vækstforhold er det selvsagt sådan, at skovrejsningens effekt på CO₂-udslippet er relativt beskedent i de første år af et projekt og først på det, i politisk sammenhæng, ret lange sigt, har det en større samlet betydning. Derfor vil virkningen være begrænset i første forpligtigelsesperiode, årene 2008-2012, uanset hvilke tiltag der sættes i værk. Først på lidt længere sigt vil skovrejsning få en større betydning i det samlede CO₂-regnskab.

I dette afsnit gennemgås kort CO₂-effekterne af den etablerede skovrejsning og det aktuelle niveau for skovrejsningsaktiviteterne. Derefter opstilles enkelte scenarier for alternative yderligere skovrejsningsaktiviteter, deres CO₂-mæssige og budget- og velfærdsøkonomiske konsekvenser, og de samlede muligheder diskuteres og opsummeres.

Den nuværende prognose for skovrejsning (privat og offentlig) giver en prognose på ca. 0,280 Mt CO₂/år i årene 2008-12 (Larsen og Johannsen, 2002). Dette optag af CO₂ kan øges ved at intensivere indsatsen for privat og statslig skovrejsning. Dette kapitel analyserer effekterne af et yderligere skovrejsningstiltag, der vil øge den samlede skovrejsning med 1.500 ha/år i 20 år fra 2002, i alt 30.000 ha. Effekten af tiltaget er en øget CO₂-binding på i gennemsnit 0,034 Mt CO₂/år i forpligtigelsesperioden, svarende til i alt 0,171 Mt CO₂ for hele perioden. På længere sigt øges optaget meget og det højeste optag er i år 2040 på 0,380 Mt CO₂/år.

Den velfærdsøkonomiske pris ved dette initiativ bliver i gennemsnit 433 kr./t CO₂. Dette gennemsnit dækker over en stor forskel mellem forskellige typer af skovrejsningsprojekter. I rapporten er der behandlet tre typer med et spænd på –600 kr./t CO₂ til 900 kr./t CO₂.

Hvad angår den budgetøkonomiske analyse, er der i beregningerne forudsat, at kommuner er parate til at finansiere dele af den bynære skovrejsning, svarende til værdien af øgede ejendomspriser tæt ved skov (og derved stigende skattegrundlag), og at vandværker er parate til at finansiere skovrejsning på vigtige grundvandsreservoirs. Den samlede budgetøkonomiske omkostning for staten bliver 60 mill. kr. om året i 20 år, forudsat at kommunerne er parate til at betale 10 mill. kr. om året og at vandværkerne er parate til at betale 7 mill. kr. om året. Tillige er EU-midler til privat skovrejsning indregnet.

2.1 Nuværende opsparing

Der er plantet træer på et relativt betydeligt areal i perioden 1990 til i dag. Skovtælling 2000 (Larsen og Johannsen, 2002) viser, at der i perioden 1990-99 er plantet træer på i alt 27.000 ha. En ikke ubetydelig del af dette areal, 11.000 ha., er juletræer (Nordmannsgran), hvoraf en stor del er plantet på landbrugsarealer. Disse regnes ikke med i denne prognose, da det ikke kan forventes at være blivende skov, og desuden opnår juletræerne meget lave biomasser i ligevægt. Derved har den samlede egentlige skovrejsning i perioden 1990-99 været på 16.000 ha. I perioden 2000-2003 er der til dato

rejst ca. 10.000 ha. yderligere. Den samlede skovrejsning har en årlig tilvækst på 0,109 Mt/år CO₂ i 2003.

På baggrund af den nye skovtælling (Larsen og Johansen, 2002) er der lavet en prognose for den forventede skovrejsning i perioden 1999-2068 (se figur 2.1). Det forventes, at der rejses 2.611 ha skov per år i perioden, som følge af de nuværende politiske prioriteringer. Dette vil resultere i, at der optages 0,280 Mt CO₂/år i den næste forpligtigelsesperiode, årene 2008-2012. Dette tal vil være stigende for senere perioder, både på grund af kontinuert skovrejsning og pga. en øget tilvækst i den eksisterende skovrejsning. I 2040 forventes det således, at der er tale om en binding af 1,270 Mt CO₂/år. Disse tal kan sammenlignes med de i alt 25 Mt som regeringen opgør den årlige CO₂-udledning endnu skal reduceres med (Finansministeriet *et al.*, 2003).

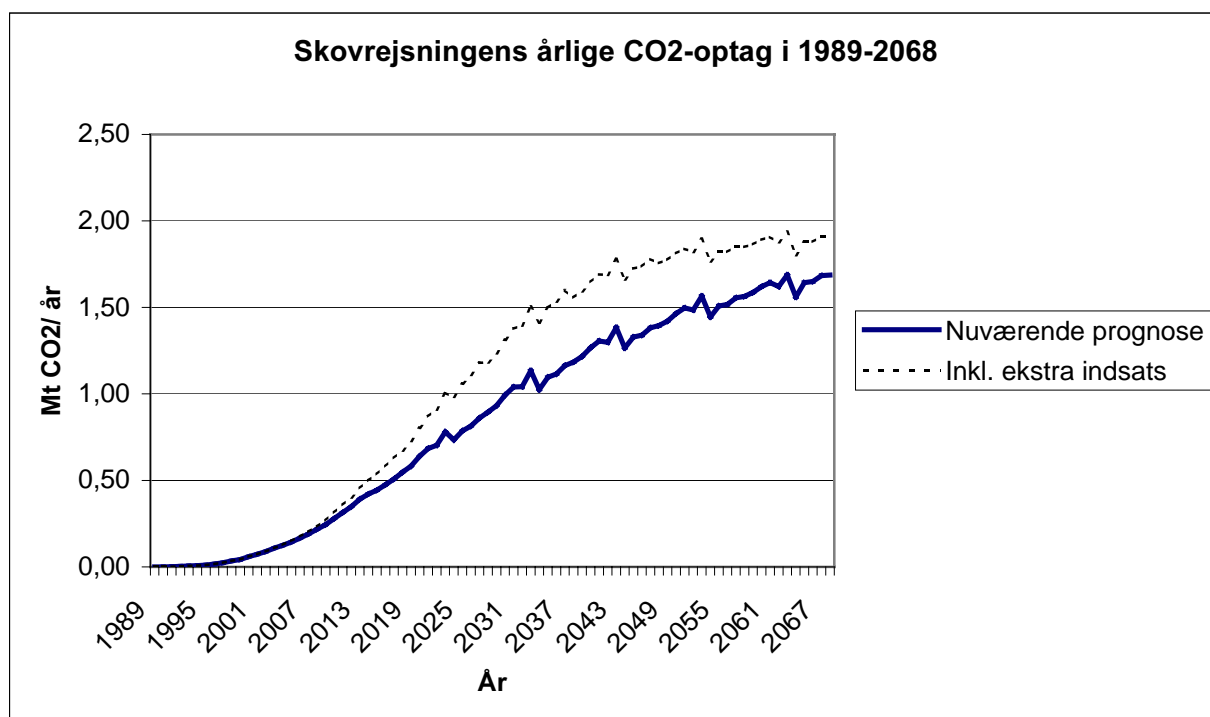
2.2 Aktører og tilskudsordninger

Skovrejsningen gennemføres typisk 1) af private, ofte med offentlig støtte i form af tilskud eller 2) gennem statslig opkøb og tilplantning af landbrugsjord. Begge tiltag har eksisteret siden starten af 90'erne, og staten har arbejdet målrettet mod at øge mængden af skov gennem de to tiltag.

2.2.1 Privat skovrejsning

Den eksisterende tilskudsordning til privat skovrejsning har fungeret med modifikationer siden 1991 (Kirkebæk og Thormann, 2000). Tilskuddet består dels af et tilskud til etablering af skoven og dels af en indkomstkompensation for tabt indtjening i landbruget. For at modtage tilskud, skal landmanden opfylde en række krav til kvaliteten af skovrejsningen, herunder træartsvalg og minimumsstørrelse af skoven. De projekter, der modtager tilskud, udvælges ud fra en helhedsbetragtning, hvor der ses på beliggenhed, størrelse og en række andre attributter. Der er plantet mere end 10.000 ha privat skov siden 1990, heraf ca. halvdelen med tilskud.

Det forudsættes i scenarierne og beregningerne nedenfor, at puljen til privat skovrejsning forøges, således at der kan plantes 1.000 ha ekstra skov om året i 20 år (2002-2022), svarende til en fordobling af den nuværende private indsats.



Figur 1.2 Historisk og fremtidig CO₂-optag i danske skove

2.2.2 Statslig skovrejsning

Offentlig skovrejsning har siden 1990 primært været foretaget som statslig skovrejsning. Derfor benyttes statslig skovrejsning til beregningerne nedenfor. Staten har i

perioden 1989-2000 anlagt 4.300 ha ny skov (Skov- og Naturstyrelsen, 2001b, Kirkebæk og Thormann, 2000) for en samlet pris på 371 mill. kr. til opkøb af jord og tilplantning. Det forudsættes i de efterfølgende beregninger, at indsatsen øges med 500 ha om året i 20 år (2002-2022), svarende til en fordobling af det årlige statslige skovrejsningsareal.

2.3 Scenarier for ekstra skovrejsningstiltag

I det følgende analyseres konsekvenserne af at øge skovrejsningen ved ekstra tiltag. Tiltagets hovedantagelse er en ekstra skovrejsning på i alt 1.500 ha/år i 20 år fra 2002, i alt 30.000 ha frem til 2022. Af disse 1.500 ha/år forudsættes den private skovrejsning øget med 1.000 ha/år og den statslige skovrejsning øges med 500 ha/år. Dette anses for et muligt mål set i forhold til den nuværende årlige skovrejsning på 2.500-3.000 ha/år.

De velfærdsøkonomiske og budgetøkonomiske konsekvenser af forskellige typer af skovrejsningsprojekter varierer betydeligt alt efter skovtype, størrelse, beliggenhed i landskabet, alternativ arealanvendelse og endelig det finansielle set-up omkring projektet. De budgetøkonomiske konsekvenser påvirkes specielt kraftigt af det finansielle

set-up, herunder hvem der ejer jorden, evt. opkøber den, hvem der tilplanter jorden og hvem der finansierer projektet. De velfærdsøkonomiske konsekvenser afhænger i højere grad af, hvilke goder, projektet medfører. Bynær skov har eksempelvis en velfærdsøkonomisk værdi som rekreativt område, og skov plantet ovenpå vigtige grundvandsreserver kan have en værdi pga. dens beskyttende virkning. Desuden vil både de budgetøkonomiske og velfærdsøkonomiske konsekvenser selvfølgelig afhænge af, hvilke omkostninger der er ved skovrejsningen. Af væsentlige omkostninger er tabet af landbrugsindtjening på jorden samt tilplantningsomkostninger. Dertil kommer løbende omkostninger til drift af skoven.

For at kunne opfange og beskrive disse forskelle på en rimelig måde, beregnes effekterne på tre forskellige scenarier:

- Mindre private skovrejsningsprojekter.
- Store, statslige, bynære skovrejsningsprojekter med fokus på rekreation.
- Store, statslige skovrejsningsprojekter med fokus på forbedring af natur og miljø.

2.3.1 Scenarium 1. Mindre, private skovrejsningsprojekter.

Scenarium 1 er mindre private skovrejsningsprojekter. Dette scenarium er relevant, da en stor del af skovrejsningen indtil nu er sket på private arealer, hvoraf en stor del er sket med tilskud. Undersøgelser har vist, at den typiske tilskudsmodtager er en landmand, der ønsker at omlægge hele eller dele af driften, ofte for at få et større naturindhold på ejendommen (Jensen, 1999, Kirkebæk og Thormann, 2000). Der er typisk tale om deltidslandmænd med små bedrifter. Det forudsættes derfor generelt, at landmændene er deltidslandmænd og har en relativt lav indtjening på landbrugsjorden.. Projekterne er gennemgående små; i gennemsnit 7 ha og ligger isoleret fra omgivelserne. Træartsvalget er løvtræ, både for at få tilskud og fordi der alligevel ikke er nogen økonomisk fordel ved nåletræ i skove på den størrelse. Driften er ekstensiv og tilpasset jagt og naturoplevelser. På grund af beliggenhed og størrelse, er de rekreative værdier meget begrænsede. Forbedringer af natur og miljø er også begrænsede, dog kan der være mange arter, der er tilpasset overgangen mellem skov og åbent land.

Scenarium 1 er altså den mest almindelige type privat skovrejsning og det forudsættes i beregningerne, at 2/3 af skovrejsningen bliver af denne type, svarende til 1000 ha om året.

2.3.2 Scenarium 2. Store, bynære skove.

Den statslige skovrejsning har lagt vægt på at plante skov nær byer i skovfattige egne af Danmark for at sikre, at befolkningen får glæde af dem. Projekterne er store, ofte er målet 100-500 ha store skove. Omkostningerne til etablering vil være høje pga. den bynære beliggenhed. De rekreative værdier er væsentlige. Tilgængelighed er der også flere omkostninger forbundet med driften af denne type skov, både i etablering og løbende drift af de nødvendige publikumsfaciliteter. Udnyttelse af jagtmulighederne kommer ikke på tale på grund af publikumspresset. Miljø- og naturværdier kan være væsentlige.

Scenarium 2 er den mest almindelige statslige skovrejsning. Det forudsættes i beregningerne at der tilplanlægges 250 ha om året, svarende til 50 % mere end den nuværende skovrejsning. Forholdet mellem den gennemsnitlige skovstørrelse og værdien for de nærliggende beboelsesområder antages at svare til de analyserede eksempler fra An-

thon og Thorsen (2002). Det forudsættes i beregningerne, at kommunerne er villige til at finansiere dele af disse projekter – samlet med et beløb svarende til de stigende ejendomsværdier og huspriser, der gavner kommunernes skattegrundlag.

2.3.3 Scenarium 3. Store skove anlagt med henblik på miljø og natur.

Denne sidste type af skovrejsningsprojekter er ikke så almindelige, men kan være med til at fremme en række natur- og miljøpolitiske formål. Projektet er af samme størrelse som i scenarium 2 og anlægges på et areal, hvor der findes vigtige grundvandsressourcer, der er udsatte for forurening i fremtiden såfremt der ikke plantes skov. Samtidig planlægges projekter, så formindskelsen af nitratudvaskning til overfladevand bliver størst muligt og den biologiske mangfoldighed forbedres mest muligt. Dette gøres både ved valg af løvtræarter og en skånsom drift, hvor pesticider og gødning er udeladt og hvor driften foregår skånsomt og med hensyn til naturen. Af samme grund af nåletræ helt udelukket af projektet. Projektet er ikke bynært beliggende, men har en regional, rekreativ værdi pga. de mange naturoplevelser. Jagtmulighederne er gode og bliver udnyttet.

Scenarium 3 er også statslig skovrejsning, og det forudsættes i beregningerne, at der tilplanlægges 250 ha om året. Dette giver sammen med scenarium 2 en fordobling af den statslige indsats. Det forudsættes på finansieringssiden, at vandværker vil være villige til at medfinansiere skovrejsning på grundvandsreservoirer i en vis udstrækning.

2.4 Resultater

I dette afsnit redegøres først for de konkrete effekter på ophobningen af CO₂ og andre fysiske virkninger af det kombinerede scenarium beskrevet ovenfor, og derefter gennemgås de forskellige økonomiske konsekvenser ved de tre typer grundscenarier.

Beregningerne bygger på en række partielle studier af den velfærdsøkonomiske værdi af skov og skovrejsning. Den samfundsøkonomiske metode følger generelt ”Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter” (Møller et al., 2000). Alle studierne har undersøgt den velfærdsøkonomiske værdi på en samlet skov eller som i Dubgaard (1998) alle Danmarks skove. Her omregnes til størrelser pr. ha, en meget brugt regneenhed, der dog altid skal tages med forbehold, da der ikke nødvendigvis er tale om en lineær sammenhæng mellem skovens størrelse og den velfærdsøkonomiske værdi. Værdien af skovrejsningen i de tre scenarier er beregnet som nutidsværdi i kr./ha. Den benyttede rente er 6%, men følsomhedsberegninger er også gennemført ved 3%. 6% er den samfundsøkonomiske rentefod, der generelt anvendes i Miljøministeriets analyser. Skovens CO₂-optag er også diskonteret med 6% for at vægte et tidligt CO₂-optag højere end et sent. Prisen på CO₂-binding i skov er beregnet i kr./t CO₂ som nutidsværdien pr. ha efter at alle omkostninger og benefits er indregnet i forhold til det forventede CO₂-optag.

2.4.1 Effekterne på CO₂-ophobning og andre fysiske og biologiske forhold

Effekten af tiltaget er en øget CO₂-binding på i gennemsnit 0,034 Mt CO₂/år i forpligtigelses-perioden og 0,380 Mt CO₂/år i år 2040. Den beregnede reduktion i perioden 2008-12 forudsætter, at skovrejsningen opnår biomasseligevægt i en alder af 90 år, hvorefter arealet ikke længere har nogen effekt som sink.

Man skal være opmærksom på, at der udover den direkte CO₂-binding er en direkte flow-effekt af at stoppe landbrugsdriften i form af mindre udledning af CO₂ og andre drivhusgasser fra produktionen på arealet svarende til en samlet mængde på 0,0029 Mt CO₂/år i forpligtigelsesperioden. Denne reduktion er indregnet i den velfærdsøkonomiske analyse af alle tre scenarier på lige fod med optaget i biomassen. Den er til gengæld ikke medregnet i CO₂-bindingen, da denne i henhold til art. 3.3 og art. 3.4 i Marrakesh-aftalen udelukkende vil blive fastsat udfra tilvæksten i biomassen. Reduktionen vil derimod blive medregnet og synlig andre steder i det overordnede CO₂-regnskab f.eks. ved reduceret forbrug af brændstof.

Der findes en række sideeffekter (eksternaliteter) ved skovrejsning med CO₂-binding for øje, som kræver en overvejelse ved specielt den velfærdsøkonomiske vurdering af skovrejsningsaktiviteten. Øget skovrejsning vil medføre en mindre landbrugsproduktion som i meget stor skala kunne være et problem, men som tillige vil medføre en reduceret belastning af grundvand, overfladevand og nærmiljø på en række områder, herunder pesticider og kvælstofforurening samt lugtgener. Derudover vil der opstå et reduceret udslip ved overgang til den mere maskin-ekstensive skovdrift, af en række andre miljøskadelige gasser som SO_x-er og NO_x-er. Endelig vil skovene i sig selv repræsentere nogle positive gevinster i form af f.eks. forbedrede muligheder for rekreation og friluftsliv (især vigtigt i de bynære skove), forbedrede muligheder for jagt samt på andre måder forbedrede vilkår for biodiversitet og mange af de sårbare arter. Velfærdsøkonomiske estimater for værdien af en række af disse effekter er søgt opgjort ved dels en primær undersøgelse af bynær skovrejsning og dels anvendelse af benefit-transfer (Anthon og Thorsen 2002).

2.4.2 Budgetøkonomiske resultater

De budgetøkonomiske omkostninger fordeles på fire forskellige aktører: Staten, EU, landbrugerne og de øvrige private husholdninger. Hvis enten kommuner eller vandværker medfinansierer projektet, har det også budgetøkonomiske konsekvenser for dem.

Ejerforhold og køb og salg af jord har således betydelige budgetøkonomiske effekter, uanset at det ikke umiddelbart har nogle velfærdsøkonomiske konsekvenser, da det i den sammenhæng må betragtes som et omfordelingstiltag. Det samme gælder for EU's landbrugstilskud og tilskud til privat eller offentlig skovrejsning. De tre scenarier har meget forskellige fordelingsmæssige konsekvenser.

Scenarium 1 er privat skovrejsning, hvor staten og EU deles om finansieringen. De budgetøkonomiske virkninger er begrænsede. EU har overskud ved projektet, da landbrugstilskuddet er større end tilskuddet til skovrejsning. For staten er dette projekt det billigste, da den eneste omkostning er halvdelen af skovrejsningstilskuddet.

Tabel 2.1 De budgetøkonomiske konsekvenser af de tre scenarier i kr./ha. Kalkulationsrente 6%.

	Scenarium 1	Scenarium 2	Scenarium 3
Staten	-22.600	- 76.600	-68.400
EU	23.300	37.800	37.800
Landbrugerne	-23.000	- 34.500	-29.600
Husholdningerne	-	210.100	-
Kommuner	-	0	-
Vandværker	-	-	0

Scenarium 2 har langt større budgetøkonomiske konsekvenser end de øvrige, især for husejere i området. Undersøgelser har vist, at huse der ligger tæt ved skovrejsning oplever en prisstigning svarende til 4-6% stigning for huspriserne i gennemsnit indtil 600 meter fra skoven (Anthon og Thorsen 2002). Derved får husholdningerne en økonomisk gevinst, der samlet er på 250.000 kr. pr. ha bynær skov. Denne husprisstigning øger kommunens skatteindtægt fra ejendomsværdiskatten med ca. 40.000 kr./ha, så den samlede gevinst for husejerne er på 210.100 kr./ha. Der forudsættes i beregningen, at den pågældende kommune medfinansierer projektet, svarende til den øgede skatteindtægt. Disse beregninger afhænger meget af størrelsen for skoven og størrelsen og arten af nærliggende boligområder, jo større skoven er, jo mindre vil effekten være pr. ha og jo flere boliger i nærheden, jo større vil effekten være. Projektet er helt omkostningsneutralt for kommunen, da medfinansieringen præcis svarer til den øgede skatteindtægt. Medfinansieringen mindsker omkostningerne for staten, men projektet er alligevel det dyreste for staten, blandt andet pga. højre omkostninger til publikumsfaciliteter. EU giver idag ikke tilskud til statslig skovrejsning og har derfor et stort overskud ved projektet på grund af bortfaldet af landbrugstilskud. Landmændene forudsættes at være deltids- eller heltidslandmænd.

Scenarium 3 finansieres af staten sammen med et offentlig eller privat vandværk. Vandværkets medfinansiering svarer til de gennemsnitlige alternativomkostninger og projektet er derfor budgetøkonomisk neutralt for vandværket. For staten betyder det, at omkostninger mindskes med ca. 30.000 kr./ha. Landmændene får en gevinst ved at sælge jorden, der er større end landbrugsindtjeningen. Det forudsættes i beregningen at indtjeningen svarer til den gennemsnitlige landbrugsindtjening for heltids- og deltidslandmænd. EU giver idag ikke tilskud til statslig skovrejsning og har derfor et stort overskud ved projektet.

2.4.3 Velfærdsøkonomiske omkostninger for CO₂-binding

Den velfærdsøkonomiske værdi af skovrejsning varierer meget mellem de tre scenarier. Tabel 2 viser prisen på CO₂ ved implementering af hvert scenarium. Den meget negative CO₂-pris for scenarium 2 ved en rente på 6%, skyldes, at scenariet har en stor velfærdsøkonomisk værdi. Både scenarium 1 og 3 har en positiv CO₂-pris, men prisen for CO₂-binding i scenarium 1 er lavere end i scenarium 3. Hvis en alternativ rente på 3% benyttes, er scenarium 2 stadig det mest fordelagtige, derefter følger scenarium 1 og til sidst scenarium 3.

Tabel 2.2 Den velfærdsøkonomiske pris på CO₂-lagring i skov beregnet ved 6% og 3% rente. Prisen er angivet i kr./t CO₂.

		Pris ved 6%	Pris ved 3%
Scenarium 1	Lille privat projekt	555	226
Scenarium 2	Stor bynær skov	-577	-26
Scenarium 3	Stor skov med miljø- og naturhensyn	911	394

I det følgende kigges der lidt nærmere på baggrunden for delresultaterne i tabel 2.2. Det første scenarium er et mindre, privat skovrejsningsprojekt. Tabel 2.3 viser de velfærdsøkonomiske omkostninger og gevinster. Den nuværende tilskudsordning har medført en type projekter med en gennemsnitsstørrelse på 7 ha. Sådanne projekter har en lille velfærdsmæssig konsekvens, men også små omkostninger. Den typiske skovrej-

ser er deltidslandmand og har derfor en lavere offeromkostning ved at plante skov (Kirkebæk og Thormann, 2000). Landbrugets regnskab viser, at deltidsbedrifter gennemsnitligt har et lavt driftsresultat (Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut 2001). Der er ingen særlige positive eksternaliteter ved skovrejsningen på grund af den ringe størrelse, som gør den uanvendelig til f.eks. beskyttelse af grundvandsreservoirer eller forbedring af overfladevandets kvalitet. Samtidig er det rekreative potentiale lille både på grund af størrelsen og adgangsmulighederne, der kan være begrænsede (Jensen, 1999). Det anvendte estimat stammer fra Dubgaard (1998), der har undersøgt befolkningens samlede betalingsvilje for at have adgang til skov. Her benyttes et estimat, der er 25% af det oprindelige, da den rekreative værdi pr. ha forventes at være mindre end gennemsnittet ved disse typer skovrejsningsprojekter. Den velfærdsøkonomiske værdi af projektet er -67.000 kr./ha skovrejsning. Prisen er 555 kr./t CO₂ ved en rentefod på 6%, primært stammende fra en negativ indtjening ved skovdrift og den tabte landbrugsindtjening.

Tabel 2.3 Den velfærdsøkonomiske værdi af et mindre privat skovrejsningsprojekt (scenarium 1) angivet som nutidsværdien i kr./ha skov. Kalkulationsrente 6%.

Værdi	Kilde	Kr.
Skovdrift	Dansk Skovforening 2000	-48.500
Landbrug	Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske inst., 2001	-28.600
Jagt	Dansk Skovforening 2001	8.300
Skatteforvridningstab		-8.400
Værdi uden sideeffekter		-76.000
Pris/t CO ₂		630
Rekreative muligheder	Dubgaard 1998	5.000
Indirekte miljøkonsekvenser	Skov- og Naturstyrelsen 2001a	4.100
Værdi inkl. sideeffekter		-67.000
Pris i kr./t CO ₂		555

Tabel 2.4 viser den velfærdsøkonomiske værdi af scenarium 2, som svarer til et typisk statsligt skovrejsningsprojekt, anlagt bynært med rekreation for øje. Forholdet mellem den gennemsnitlige skovstørrelse og værdien for de nærliggende beboelsesområder antages at svare til de analyserede eksempler fra Anthon og Thorsen (2002). Offeromkostningerne ved ophørt landbrugsdrift er typisk højere end for de små private skovrejsningsprojekter, da der opkøbes større sammenhængende landbrugsarealer nær byer. På grund af den rekreative målsætning er der omkostninger til publikumsfaciliteter, både etableringsomkostninger og løbende omkostninger til drift. De højere omkostninger modsvares dog af langt større velfærdsøkonomiske benefits. Den vigtigste velfærdsøkonomiske værdi er værdien af lokal rekreation, som bynære skovrejsningsprojekter muliggør. En undersøgelse af husejeres betalingsvilje for at bo i nærheden af skovrejsningsprojekter har vist en betalingsvilje på 4-6% af husets værdi (Anthon og Thorsen, 2002), svarende til 250.000 kr./ha skov i dette scenarium. Værdien af øgede regionale muligheder for rekreation er tilgængelig ikke så store, da der som oftest vil være bedre muligheder for rekreation end et helt nyt skovrejsningsområde. På længere sigt kan området dog få rekreativ betydning. Værdien sættes arbitært til 25 % af Dubgaards (1998) estimat. Den velfærdsøkonomiske værdi af scenarium 2 er 769.600 kr./ha skov, hvilket resulterer i en negativ pris på -576 kr./t CO₂. Der regnes ikke med væsentlige miljøeffekter af skovrejsningen i dette scenarium, selv om det selvføl-

gelig er en mulighed, hvis projekterne ydermere planlægges med henblik på f.eks. grundvandsbeskyttelse.

Tabel 2.4 Den velfærdsøkonomiske værdi af et stort, bynært, statsligt skovrejsningsprojekt (scenarium 2) angivet som nutidsværdien i kr./ha skov. Kalkulationsrente 6%.

Værdi	Kilde	Kr.
Skovdrift	Dansk Skovforening 2000	-53.300
Landbrug	Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Inst., 2001	-96.500
Publikumsfaciliteter	Skov- og Naturstyrelsen 2001b	-11.300
Skatteforvridningstab		-28.400
Værdi uden sideeffekter		-188.500
Pris/t CO ₂		1570
Rekreative muligheder, lokale	Anthon og Thorsen 2002	250.000
Rekreative muligheder, regionale	Dubgaard 1998	5.000
Indirekte miljøkonsekvenser	Skov- og Naturstyrelsen 2001a	4.100
Værdi inkl.		69.600
Pris/t CO ₂		-576

Resultaterne for det sidste og tredje scenarium er vist i tabel 2.5. Det er et større skovrejsningsprojekt, der er henlagt specielt med henblik på at forbedre miljøtilstanden og naturens biologiske mangfoldighed. Størrelsen er som i scenarium 2 100-500 ha, men arealet ligger ikke bynært. Det rekreative potentiale er derfor mindre, men kan dog være væsentligt. Til gengæld placeres projektet der, hvor der er flest miljøinteresser, der kan tilgodeses. Der opnås en positiv effekt ved at mindske nitratudvaskningen til overfladevand og ved at sikre grundvandsreservoirer. Desuden er der en positiv effekt på den biologiske mangfoldighed i området, som desværre ikke med rimelighed kan værdisættes med baggrund i den foreliggende viden om biodiversitetens værdi som sådan. Projektet har desuden en markedsværdi som jagtområde, da udlejning af jagten ikke påvirker nogle af natur- eller miljøhensynene i projektet. Den velfærdsøkonomiske værdi af projektet er -110.000 kr./ha skov. Det resulterer i en pris på 911 kr./t CO₂.

Tabel 2.5 Den velfærdsøkonomiske værdi af et stort skovrejsningsprojekt, anlagt med henblik på miljø og natur (scenarium 3) angivet som nutidsværdien i kr./ha skov. Kalkulationsrente 6%.

Værdi	Kilde	Kr.
Skovdrift	Dansk Skovforening 2000	-53.300
Landbrug	Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Inst., 2001	-96.500
Jagt	Dansk Skovforening 2001	13.300
Publikumsfaciliteter	Skov- og Naturstyrelsen 2001	-5.600
Skatteforvridningstab		-25.300
Værdi uden sideeffekter		-167.500
Pris kr./t CO ₂		1388
Rekreative muligheder	Dubgaard 1998	20.000
Nitrat	Danmarks Miljøundersøgelser, 2000	4.300
Sikring af grundvand	Miljø- og Energiministeriet 1997	29.200
Biodiversitet	Viden utilstrækkelig	-
Indirekte miljøkonsekvenser	Skov- og Naturstyrelsen 2001	4.100
Værdi med sideeffekter		-110.000
Pris kr./t CO ₂		911

Selv om viden om de velfærdsøkonomiske konsekvenser forbedres løbende gennem værdisætningsstudier, er der nogle af effekterne, der er meget dårligt belyst. Således skal det ikke tolkes som om, der ikke er nogen ikke-brugsværdi af at fremme den biologiske mangfoldighed. Der findes bare ingen viden om, i hvilken grad skovrejsning forbedrer biodiversiteten lokalt, regional eller nationalt eller hvilke ikke-brugsværdier skovrejsningen resulterer i. Brugsværdierne dækkes af de rekreative værdier, da de kommer til udtryk, når befolkningen besøger skoven. Dette gør, at de velfærdsøkonomiske konsekvenser af scenarium 3 undervurderes, men det er desværre ikke muligt at sige, hvor meget.

2.4.4 Følsomhed over for ændrede forudsætninger

En lang række antagelser ligger bag hovedresultaterne i tabel 2.2. En central parameter, hvis størrelse ofte er genstand for berettiget faglig diskussion, er renten. Alle estimater er følsomme for ændret rente. Sænkes kalkulationsrenten til 3%, halveres den velfærdsøkonomiske pris for CO₂ i scenarium 1 og 3, hvorimod den negative pris for scenarium 2 stiger til -26 kr./t CO₂, jf. tabel 2.2.

De tre scenarier repræsenterer hver deres forudsætninger for beregningen og det ses, at prisen på lagringen af CO₂ afhænger meget af, hvilke andre eksternaliteter der medregnes. Det samme gør de budgetøkonomiske virkninger.

De mest usikre estimater af sideeffekter knytter sig til biodiversitet, værdien af mindsket nitratudvaskning samt værdien af grundvandsbeskyttelse. Værdien af øget biologisk mangfoldighed er det aktuelt ikke muligt at estimere, hvilket fører til en undervurdering af især scenarium 3, der er anlagt med henblik på naturværdier. Det er ikke muligt at sige, om de to andre estimater er over- eller undervurderede.

Den sideeffekt, der betyder mest for resultaterne, nemlig den rekreative værdi, er derimod rimelig sikker, når den opgøres vha. husprisundersøgelsen. Den bygger på ændringer i huspriser og derfor på afslørede, beviste præferencer, da der rent faktisk er personer, der har betalt mere for husene, efter skoven blev plantet. Der opstår dog problemer med at overføre estimatet fra de to undersøgte skovrejsningsprojekter til en generelt estimat pr. ha skovrejsning, da estimatet afhænger af antallet af huse og ikke nødvendigvis af størrelsen af skoven. Derfor forudsættes det, at der er det samme antal huse pr. ha i scenarium 2 som i de to undersøgte skovrejsningsområder.

Den samlede CO₂-pris afhænger derudover meget af, hvor stor en del af skovrejsningen, der plantes som bynær skov. Ovenfor er benyttet en fordeling, hvor der tilplanter 1.000 ha privat skov om året (scenarium 1), 250 ha bynær statslig skov (scenarium 2) og 250 ha med henblik på natur- og miljøgoder (scenarium 3). Tabel 2.6 viser gennemsnitsprisen og den gennemsnitlige budgetomkostning for staten, afhængig af hvilke type af skovrejsningsprojekt, der vælges. Hvis scenarium 3 helt opgives, og der i stedet plantes 250 ha ekstra bynær statslig skov, stiger den samlede velfærdsøkonomiske værdi fra -77,1 mill. kr. til -32,2 mill. kr. Dette medfører en CO₂-pris på 178 kr./t CO₂. Derimod stiger den statslige budgetmæssige omkostning fra 59,8 til 61,9 mill. kr. Den lille stigning i de statslige omkostninger skyldes, at begge projekter er statslige. Vandværkernes medfinansiering forsvinder helt og kommunernes medfinansiering fordob-

les til 20 mill. kr. En anden mulighed er at ændre fordelingen mellem privat og offentlig skovrejsning. Hvis scenarium 1 reduceres til 750 ha og scenarium 2 øges til 500 ha, stiger den velfærdsøkonomiske værdi til -42,9 mill. kr. Dette medfører en CO₂-pris på 237 kr./t CO₂. De statslige omkostninger stiger en del fra 58,9 mill. kr. til 72,4 mill. kr. om året, da privat skovrejsning har et langt mindre statsligt finansieringsbehov end statslig skovrejsning. Desuden fordobles den kommunale medfinansiering.

Tabel 2.6 Følsomhedsanalyse af ændrede arealfordelinger mellem de 3 scenarier.

	CO ₂ -pris Kr./t	Velfærdsøkonomisk Værdi (Mill. kr.)	Årlige omkostninger (mill. kr.)		
			Stat	Kommune	Vandværker
Oprindelig fordeling	426	-77,1	58,8	10,0	7,3
Scenarium 3 droppet	178	-32,2	60,9	20,0	0,0
Mindre af scenarium 1	237	-42,9	72,4	20,0	7,3

Der er altså en langt større velfærdsøkonomisk gevinst, hvis tiltaget øger andelen af statslig bynær skovrejsning. Budgetøkonomisk såvel som velfærdsøkonomisk set er den bedste løsning af mindske andelen af statslig skovrejsning, som ikke er bynær. Dette svarer i øvrigt til Skov- og Naturstyrelsens nuværende strategi for skovrejsning, hvor indsatsen koncentrerer sig om den bynære skov.

2.5 Diskussion af visse langsigtede aspekter og afledte effekter

I dette afsnit diskuteres nogle af de bredere og mere langsigtede perspektiver og effekter ved en udstrakt brug af skovrejsning til binding af CO₂.

2.5.1 Konsekvenser af ændret arealudnyttelse

Skovrejsning på tidligere landbrugsjord påvirker både skovbruget, landbruget og følgesektorerne. Udstrakt skovrejsning, globalt set, vil på længere sigt føre til et øget udbud af træ og et mindre pres på skoven som rekreativ ressource. Det øgede udbud af træprodukter kan over en periode føre til prisfald (Lewis et al., 1996). Dette kan starte en korregerende effekt, fordi skovbrugets rentabilitet nogle steder kan svækkes og føre til afskovning i lande, hvor skovarealet ikke er sikret.

I Danmark pålægges det nye skovareal fredskovspligt. Den nuværende tilskudsordning kræver pålæggelse af fredskovspligt for, at landmanden kan modtage tilskuddet. Men den skovrejsning, der sker uden tilskud, er tilgængelig ikke påtvunget fredskovspligt. I forhold til Kyoto-protokollen skal man her være opmærksom på, at landene er forpligtigede til også at medregne negative ændringer i skovarealet. Det vil sige, at hvis den nye skov ikke er permanent, opnår man kun at flytte forpligtigelsen i tid og derved øge forpligtigelsen ude i fremtiden. Men selv en sådan reduceret og primært tidsmæssig effekt af en midlertidig vækst i skovarealet kan have en økonomisk værdi for så vidt teknologiske og økonomiske udviklinger muliggør udviklingen af bedre og billigere CO₂-reduktionsmuligheder i fremtiden.

2.5.2 Påvirkning af priser i øvrigt

Skovrejsning som det er modelleret i dette afsnit fører til ophør af landbrugsdriften, men med de beherskede niveauer for aktiviteten, der her er tale om vurderes det ikke, at priserne på landbrugsprodukter og heller ikke jordpriser vil blive påvirket. Dertil er omfanget for marginalt.

I dette afsnits analyser indregnes en lokal positiv effekt på huspriserne ved bynær skovrejsning. Huspriserne vil stige yderligere, efterhånden som skoven vokser til, men vil antageligt på et tidspunkt stabiliseres i et permanent højere niveau. Dette fører til en økonomisk gevinst for de nuværende ejere, når huset handles og fungerer derfor som en direkte indkomstoverførsel til disse ejere. Estimatet stammer fra en partiel analyse og det er ikke muligt at sige, hvordan udbredt bynær skovrejsning på længere sigt vil påvirke huspriserne nationalt. Hvis skovnærhed bliver meget normalt, vil den marginale værdi af godet selvsagt falde. Det beskedne tiltag modelleret i denne analyse vurderes dog langt fra at have et omfang der sandsynliggør sådan en effekt.

2.5.3 Langsigtede effekter

De langsigtede konsekvenser af skovrejsningen er en væsentlig del af projektvurderingen. På længere sigt vil skovrejsningsprojekterne binde langt mere CO₂ end i den første forpligtigelsesperiode. I 2040 vil den samlede binding som følge af den ekstra indsats på 30.000 ha alene stå for 0,380 Mt CO₂/år. Derefter vil effekten af det ekstra tiltag være faldende, indtil skoven opnår biomasseligevægt.

De andre positive eksternaliteter ved skovrejsning er også blivende effekter. Fordelen ved en mindsket landbrugsproduktion med tilhørende mindre nitrat- og pesticidproblemer, øget biodiversitet og forbedrede rekreative muligheder for befolkningen vil antageligt have en stigende værdi i fremtiden.

Den eneste faktor, der udfra en bæredygtighedsbetragtning, har en negativ effekt er den mindskede fødevareproduktion som følge af skovrejsningen. I dag pålægges alle nye skovrejsningsarealer, der modtager tilskud samt alle offentlige skovrejsningsprojekter fredskovspligt, hvilket vil sige, at arealet for altid er reserveret til skovdrift og ikke må ryddes. Dette er en stor fordel for den langsigtede miljøeffekt af tiltaget, men er en institutionel hindring for at arealerne kan inddrages til landbrugsproduktion igen.

2.6 Sammenfatning

På baggrund af den nye skovtælling (Larsen og Johansen 2002) er der lavet en prognose for den forventede skovrejsning i perioden 1999-2068. Det forventes, at der rejses 2.611 ha skov per år i perioden, som følge af de nuværende politiske prioriteringer. Dette vil resultere i, at der optages 0,280 Mt CO₂/år i den næste forpligtigelsesperiode, årene 2008-2012. Dette tal vil være stigende for senere perioder, både på grund af kontinuert skovrejsning og en øget tilvækst i den eksisterende skovrejsning. I 2040 forventes det således, at der er tale om en binding af 1,27 Mt CO₂/år. Disse tal kan sammenlignes de i alt 25 Mt som Regeringen opgør den årlige CO₂-udledning endnu skal reduceres med (Finansministeriet et al., 2003). Dette kapitel har analyseret effekterne af et yderligere skovrejsningstiltag, der vil øge den samlede skovrejsning med 1.500 ha/år i 20 år fra 2002, i alt 30.000 ha. Effekten af tiltaget er en øget CO₂-binding på i gennemsnit 0,034 Mt CO₂/år i forpligtigelsesperioden, svarende til i alt 0,171 Mt for hele perioden 2008-2012. På længere sigt øges optaget meget og det højeste optag er i år 2040 på 0,380 Mt CO₂/år.

Tiltaget er modelleret som en bestemt kombination af tre typer af skovrejsningsprojekter: Mindre private projekter, større bynære projekter og større projekter i landska-

bet med fokus på miljøgevinster i øvrigt. Den velfærdsøkonomiske omkostning regnet i kr./t CO² varierer meget på tværs af disse projekttyper. Ved en rentefod på 6 % har det bynære projekt en negativ omkostning på -577 kr./t CO², det mindre private projekt en omkostning på 555 kr./t CO² og det større naturorienterede projekt har en omkostning på hele 911 kr./t CO². Specielt for det sidste projekt er prisen sandsynligvis overvurderet, da biodiversitetseffekter af mangel på kvalificerede primære studier af denne værdi er sat til en værdi på 0 kr. Dertil kommer at værdien for grundvandet også kan være undervurderet noget.

Det samlede scenarium er sammensat som 1.000 ha af den private skovrejsning og 250 ha. af hver af de to andre typer skovrejsning. Dermed lander den velfærdsøkonomiske pris ved dette initiativ på i gennemsnit 426 kr./t CO². Den samlede mængde ekstra bynære skovrejsning indregnet i dette initiativ vil over perioden blive på 5.000 ha. Det vurderes derfor, at denne gennemsnitlige pris kan forbedres noget, såfremt Miljøministeriet målrettet forfølger strategien om at satse på bynær skovrejsning.

Hvad angår den budgetøkonomiske analyse, er der i beregningerne forudsat, at kommuner er parate til at finansiere dele af den bynære skovrejsning, svarende til værdien af øgede ejendomspriser tæt ved skov (og derved stigende skattegrundlag), og at vandværker er parate til at finansiere skovrejsning på vigtige grundvandsreservoirer. Den samlede budgetøkonomiske omkostning for staten bliver 60 mill. kr. om året i 20 år, forudsat at kommunerne er parate til at betale 10 mill. kr. om året og at vandværkerne er parate til at betale 7 mill. kr. om året.

3. Bindingspotentialiale i eksisterende skov

I Marrakesh-aftalen åbnes der mulighed for, at såkaldte ”additional human-induced activities” kan indgå i forpligtigelsen. I forbindelse med skove vil dette især dreje sig om ændringer i skovforvaltning (Watson et al. 2000). I dansk skovbrug kunne det f.eks. være ændringer i hugstpraksis, træartsvalg, omdriftsalder mm., som afviger fra den normalt anvendte (økonomisk) optimale praksis. Der er generel enighed om, at bindingspotentialet i eksisterende skov, især på kort sigt, er langt større end ved skovrejsning. For det første er der grænser for hvor store arealer, der kan konverteres til skov i en stadig mere tætbeholdt verden, og for det andet er bindingspotentialet lille i de første årtier efter tilplantning, da træerne stadig er små, dvs. der er tale om en effekt langt ude i fremtiden.

Analysen af bindingspotentialet i eksisterende skove giver meget forskellige resultater, der ikke er umiddelbart sammenlignelige. For at skabe lidt overblik benytter Cannell (2003) tre forskellige bindingspotentialer:

- *Teoretisk potentiel kapacitet:* Nogle eller alle praktiske begrænsninger ignoreres og bindingspotentialet kan oftest opfattes som det økologisk maksimalt opnåelige.
- *Realistisk potentiel kapacitet:* Der tages hensyn til nogle samfundsmæssige begrænsninger for bindingspotentialet, men potentialet forudsætter intensiv politisk indsats og er optimistisk mht. tilgængelighed af jord og/eller socioøkonomiske forhold. Potentialer i denne kategori kan opfattes som det mulige, hvis (verdens)samfundet som helhed satte kræfterne ind på det.
- *Konservativ opnåelig kapacitet:* konservative prognoser, typisk baseret på fremskrivninger af trends og business-as-usual scenarier.

Cannell (2003) vurderer ud fra et litteraturstudie at den teoretiske potentielle kapacitet på verdensplan ligger på 7340-14680 Mt CO₂/år¹ i 50 år for binding i skov (incl. skovrejsning). Den realistiske potentielle kapacitet er halvt så stor og den konservative opnåelige kapacitet ligger på 743-3670 Mt CO₂/år i 50 år. Heraf findes for den teoretiske potentielle kapacitet 734-1835 Mt CO₂/år i de ’gamle’ EU-lande, EU15, den realistiske er 184-367 Mt CO₂/år i 100 år og den konservative når kun op på 73-184 Mt CO₂/år i 50 år. Til sammenligning er den antropogene udledning i EU15 på 3450 Mt CO₂/år (Cannell, 2003). Missfeldt & Haites (2001) har samlet en lang række estimater for størrelsen af carbon-sinks. De regner med, at Bonn-aftalens begrænsninger giver skovrejsning et potentiale på 44 Mt CO₂/år og ændret skovforvaltning 217 Mt CO₂/år for Annex-II landene². Tager man resten af Annex B landene med (Østeuropa), stiger tallet til 301 Mt CO₂/år. De finder desuden, at omkostningerne for binding i eksisterende skov generelt ligger på linie med omkostningerne ved skovrejsning. For Danmarks vedkommende varierer omkostningerne betydeligt alt efter hvilke øvrige funktioner og goder skoven giver, og efter hvilken alternativ arealanvendelse, der er tale om, jf. scenarierne og beregningerne i kapitel 2.

¹ Alle følgende tal er omregnet fra Gt C/år

² EU, de fleste OECD-lande undtagen Østeuropa.

Størrelsen af den realistiske potentielle kapacitet afhænger i høj grad af, hvor meget jord der er tilgængelig for skovrejsning, samt i hvor høj grad det er muligt at lægge driften i eksisterende skove om. I Europa er konvertering mellem forskellige arealudnyttelser generelt sjælden og flere steder tillige hæmmet af lovgivning.

3.1 Nuværende dansk opsparing

Ifølge Marrakesh-aftalen kan der for Danmarks vedkommende medregnes 0,183 Mt CO₂/år i forpligtigelsesperioden af den løbende opsparing i de danske skove. Dette tal er meget lavt i forhold til den aktuelle biomasseopsparing. Ifølge den seneste skovtælling (Larsen og Johansen, 2002) er der i perioden 1990-99 sket et nettooptag på 3,901 Mt CO₂ pr. år i de danske skove. Denne store opsparing skyldes primært det store stormfald i 1981, hvilket gør, at der er mange unge nåletræsbevoksninger med en stor tilvækst og små vedmasseudtag. På kort sigt (første forpligtigelsesperiode) vil denne ”naturlige” vedmasseopsparing fortsætte. Selv om vedmassetilvæksten skulle falde, vil der stadig være langt ned til Marrakesh-aftalens grænse for den danske medregning af CO₂-binding i skove. Aktuelt er der således ikke basis for at få godskrevet CO₂ opsparet i eksisterende skov i første forpligtigelsesperiode. Imidlertid kan der tænkes situationer, hvor det er samfundsøkonomisk fornuftigere, og i øvrigt hurtigere, at øge lagringen af CO₂ ved at gennemføre tiltag i eksisterende skov. Det giver det nuværende aftalegrundlag imidlertid ikke nævneværdig mulighed for, men hvis aftalen ændres, kan det blive muligt at øge vedmasseopsparingen i eksisterende skove gennem anvendelse af miljøøkonomiske instrumenter. En mulighed, der dog kræver en nærmere analyse, kunne være at lave kontrakter med skovejere om et givent biomasseniveau for deres skove eller bevoksninger. Biomassemålsætningen skal være højere end det driftsøkonomisk optimale, og samtidig må det betinges, at en evt. ydet kompensation pr. CO₂-enhed ikke kan være højere end omkostningen ved at reducere CO₂-emissionen i biligt tilgængelige alternativ.

3.2 Veje til øget opsparing i skov

IPCC nævner en række muligheder for skovforvaltningstiltag som kan øge CO₂ bindingen i skovbruget (Watson *et al.*, 2000). Det drejer sig om:

- Foryngelse efter renafdrift
- Gødskning
- Beskyttelse mod skadedyr
- Sikring mod brand
- Skovnings-mængde og tidspunkt
- Skånsomme hugstteknikker
- Reduceret degradering af skov

Det er ikke alle disse tiltag der aktuelt er relevante for danske forhold. Skadedyr og brand udgør i Danmark kvantitativt kun mindre problemer sammenlignet med f.eks. i Sydeuropa og USA. Skånsomme hugstteknikker relaterer sig mest til hugst i naturskove, hvor effekten på CO₂-lagringen i vidt omfang skyldes mindre hugstudtag. Ligeledes er degradering af skov ikke et problem i Danmark.

De fleste steder i Danmark er der kvælstof-overskud og gødskning må derfor formodes kun at have begrænset effekt. Gødskning med andre mineraler kunne være aktuelt, men også vand synes at være en væsentlig begrænsende vækstressource. Foryngelse efter renafdrift er i dag sikret via skovloven, og et yderligere CO₂-optag kan derfor ikke opnås her. De mest åbenlyse muligheder for at øge CO₂-optaget i de danske skove må derfor være ændring af træartsvalg eller skovningens mængde og tidspunkt.

3.3 Nogle danske scenarier på bevoksningsniveau

Nedenfor vises resultaterne af en analyse vedr. potentialet for CO₂-binding i eksisterende skov baseret på nogle bevoksningsvise scenarier. De tiltag, der kan være tale om for ekstra lagring i eksisterende skov, er dels en forlængelse af omdriften hvorved de vedmasserige aldersklasser står i flere år og forlænger opsparringstiden, og dels en mindsket hugst hvorved den stående vedmasse øges i forhold til basisscenariet. Basis-scenarierne er valgt så de så vidt muligt er gode eksempler på hvordan skoven ofte og traditionelt forvaltes, som det kan aflæses af f.eks. tilgængelige takseringsdata.

3.3.1 Scenarier

For at illustrere potentialet er der opstillet en række alternative scenarier for hovedtræarterne, rødgran, bøg og eg, hvor det beregnes, hvor meget ekstra CO₂ der løbende bindes ved de ændrede behandlinger, samt hvor meget det vil koste – budgetøkonomisk såvel som velfærdsøkonomisk - at opnå denne binding. Netto-CO₂-bindingen opgøres således pr. år og af hensyn til sammenlignelighed beregnes nutidsværdien for de ændrede tiltag ud i al fremtid parallelt med den diskonterede mængde bundet CO₂.

For at gøre analysen så uafhængig af afsætningsmulighederne som muligt og samtidig fokusere på de dominerende første-ordens effekter, ses kun på effekten så længe træet er i skoven, dvs. al den bundne CO₂ frigives straks efter fældning i både den traditionelle og alternative behandling. Det vurderes, at den herved evt. underestimerede CO₂-binding er af mindre betydning da der kun vil være tale om en kortvarig tidsmæssig forskydning af den efterfølgende ophobning i produkter. Også CO₂ bundet i jorden og litterlaget er udeladt, da de ændrede driftstiltag ikke formodes at ændre væsentligt på jordens CO₂-indhold. Det samme gør sig gældende for det fossile brændstof der benyttes i driften af skovene, idet det også antages ens i alle scenarier.

Som udgangspunkt er valgt nogle alternative scenarier hvor tiltagene er relativt konservative, således at en ændring i driften kun afviger i mindre grad fra den i dag praktiserede. Hvis man f.eks. i udstrakt grad stoppede driften i skovene ville man naturligvis kunne lagre langt mere, men samtidig vil der opstå en række, måske meget dyre, afledte og komplekse effekter i samfundet, der ikke kan modelleres indenfor dette projekt. Det kunne f.eks. indebære en kraftig reduktion af biobrændselsproduktionen.

Følgende behandlinger blev simuleret:

Rødgran: Udgangspunktet er her en plantet rødgrankultur, som drives i 55-årig omdrift på de gode jorde og 70 år på de ringe. I stedet for en aktuel D-B hugst ekstensiveres denne, således at der ikke hugges efter, at bevoksningen har nået en højde på 14 m (over denne højde er der betydelig stormfaldsrisiko ved tyndingsindgreb). I rødgran undersøges ikke hvilken betydning en forøgelse af omdriftsalderen vil have for lagringen. Det skyldes, at empiriske opgørelser over stående skoves aldersklassfordelinger

viser, at omdriftsalderen netop grundet stormfaldsrisikoen er en upålidelig beslutningsvariabel og det er derfor urealistisk at benytte omdriftsalderen konstruktivt til opsparring af CO₂.

Eg: Udgangspunktet er en plantet kultur med en omdriftsalder på 130 år på de gode jorde. Pga. begrænsninger i brugen af vækstmodellen er de ringe boniteter ikke undersøgt. Effekten af at reducere hugsten til B (85% relativ grundflade) fra den aktuelle D-hugst (50% relativ grundflade) undersøges. Derudover analyseres en omdriftsforlængelse på henholdsvis 10 og 30 år.

Bøg: Udgangspunktet er en selvforyngelsesbevoksning, hvor foryngelseshugst påbegyndes ved alderen 110 år, og afsluttes 20 år senere. Den relative grundflade er 67%. For bøg analyseres effekten af at reducere hugsten til en relativ grundflade på 85%, samt at forlænge overstanderafviklingen med 10 og 30 år eller påbegynde og afslutte den 10 år senere.

Vækstmodellerne er baseret på Johannsen (1999) for eg, Leary *et al.* (1999) for rødgran og Nord-Larsen (2003) for bøg. Sidstnævnte er første udkast til en model, og den er derfor endnu ikke testet. Den synes dog at give rimelige estimater og er pt. det bedste estimat for en hugstafhængig vækstmodel vi har. Det antages, at en selvforyngelse er 5 år om at nå samme størrelse som en 2-årig plantet kultur. For hver træart er to boniteter simuleret – en god og en ringe, repræsenterende den bedste og den ringeste tredjedel af Danmarks skove (jf. Larsen og Johannsen, 2002). Mere detaljerede oplysninger om modellernes præcise udseende for denne rapport's formål kan fås fra forfatterne. Dyrknings- og sortimentsomkostninger er baseret på skovøkonomiske tabeller (Dansk Skovforening *et al.*, 2000), dog tillagt hegningsomkostninger for selvforyngelse i bøg. Priser er baseret på Skov- og Naturstyrelsens regnskabstal, januar-november 2002 samt Dansk Skovforenings prisstatistik september 2001-august 2002. Tilskud og skat er udeladt. Bøg er i cyklisk drift og som sammenligning er valgt alderen 60 år da bevoksningerne vil være i samme stadie her. Rødgran og eg sammenlignes ved alderen 2 år.

3.3.2 Resultater

I tabel 3.1-3.8 er vist budget- og velfærdsøkonomiske omkostninger for de forskellige scenarier. Budgetøkonomiske omkostninger er de konsekvenser det har for skovejeren at driftsformen ændres. Det antages at kun han påvirkes af de pågældende ændringer. De velfærdsøkonomiske omkostninger er de omkostninger samfundet har som helhed af de ændrede tiltag. For at estimere dette benyttes beregningspriser som er de oprindelige priser korregeret for en nettoafgiftsfaktor. Det antages at CO₂ kan handles på et åbent marked. Se Møller *et al.* (2000) for en uddybende forklaring. Ændringer i den rekreative og biologiske værdi er ikke forsøgt estimeret. Det vil dog være forventeligt at i hvert fald en længere omdriftsalder vil forøge den rekreative såvel som den biologiske værdi. Negative tal i tabellerne er omkostninger ved den øgede binding, mens positive tal er udtryk for en gevinst og antyder, at tiltaget er (tæt ved at være) rentabelt i sig selv – uden kompensation for CO₂-ophobning. Prisen pr. t CO₂ er altså den negative nutidsværdi af omkostningen.

Tabel 3.1 Budgetøkonomiske konsekvenser for driftsændringer i bøg på ringe bonitet vist som nutidsværdi i kr. pr. fremtidig bundet t CO₂.

Bøg, ringe bonitet, cyklisk drift, værdi ved 60 år			
Ændring i omdriftsalder	Ændring i hugst	r = 3%	r = 6%
Forlænget 10 år		-1	-144
Forlænget 30 år		-10	-149
	svag	189	19
Forlænget 10 år	svag	94	-12
Forlænget 30 år	svag	53	-31
	svag fra 70 år	81	-27
Forlænget 10 år	svag fra 70 år	33	-62
Forlænget 30 år	svag fra 70 år	8	-81
Skubbet 10 år		64	-50
Skubbet 10 år	svag	88	-14
Skubbet 10 år	svag fra 70 år	45	-50

Tabel 3.2 Budgetøkonomiske konsekvenser for driftsændringer i bøg på god bonitet vist som nutidsværdi i kr. pr. fremtidig bundet t CO₂.

Bøg, god bonitet, cyklisk drift, værdi ved 60 år			
Ændring i omdriftsalder	Ændring i hugst	r = 3%	r = 6%
Forlænget 10 år		-18	-172
Forlænget 30 år			
	svag	110	-25
Forlænget 10 år	svag	47	-48
Forlænget 30 år	svag	34	-61
	svag fra 70 år	-40	-101
Forlænget 10 år	svag fra 70 år	-42	-118
Forlænget 30 år	svag fra 70 år	-26	-124
Skubbet 10 år		-121	-189
Skubbet 10 år	svag	-28	-74
Skubbet 10 år	svag fra 70 år	-104	-142

Tabel 3.1 og 3.2 viser de budgetøkonomiske konsekvenser af en ændring i driften for bøg i cyklisk drift. For sammenlignelighedens skyld er værdien sammenlignet ved 60 år. Der er tale om 1) en ændring til svagere hugst, samt hvis den samme ændring først påbegyndes i en 70-årig bevoksning og dernæst fortsættes ud i al fremtid, 2) en forlængelse af foryngelsesfasen ved at beholde overstanderne i længere tid, 3) en egentlig forlængelse af omdriften hvor det hele skubbes så foryngelsen påbegyndes 10 år senere og afsluttes 10 år senere.

Det ses at en forlængelse af omdriftsalderen i 10 år er billigere på de ringe jorde end på de gode og at en yderligere forlængelse er dyrere (for de ringe jorde). Da vækstmodellen for bøg endnu ikke er afprøvet og en ekstrapolering til en omdriftsalder på 160 år er lang, giver modellen pt. ikke grundlag for at forlænge omdriftsalderen på de gode jorde så langt. Derfor er en 30-årig forlængelse af omdriftsalderen på god bonitet ikke medtaget i analysen. En svagere hugst giver, ved en lav rentefod et økonomisk overskud, dvs. det er driftsøkonomisk optimalt at lagre mere CO₂ uden økonomisk kompensation. Hvis det kombineres med en forlængelse af omdriftsalderen falder gevinsten naturligtvis noget. Det ses også at det er relativt dyrt at begynde en svagere hugst

ved alderen 70 år end at have den fra start. Årsagen til dette er, at CO₂ kun ophobes i lille mængde i en kort årrække, og dette er også det tidspunkt hvor der skulle begynde at komme betydende indtægter fra hugsten i skoven. Scenariet ”Påbegyndelse af forryngelsen og afdrift skubbes begge 10 år” ses at være dyr på de gode jorde, men fordelagtig på de ringe jorde ved en lav rentefod.

Tabel 3.3 Velfærdsøkonomiske konsekvenser for driftsændringer i bøg på ringe bonitet vist som nutidsværdi i kr. pr. fremtidig bundet t CO₂.

Bøg, ringe bonitet, cyklisk drift, værdi ved 60 år			
Ændring i omdriftsalder	Ændring i hugst	r = 3% r = 6%	
Forlænget 10 år		-1	-169
Forlænget 30 år		-11	-176
	svag	224	24
Forlænget 10 år	svag	112	-13
Forlænget 30 år	svag	63	-36
	svag fra 70 år	99	-29
Forlænget 10 år	svag fra 70 år	40	-71
Forlænget 30 år	svag fra 70 år	10	-94
Skubbet 10 år		62	-73
Skubbet 10 år	svag	99	-19
Skubbet 10 år	svag fra 70 år	50	-61

Tabel 3.4 Velfærdsøkonomiske konsekvenser for driftsændringer i bøg på god bonitet vist som nutidsværdi i kr. pr. fremtidig bundet t CO₂.

Bøg, god bonitet, cyklisk drift, værdi ved 60 år			
Ændring i omdriftsalder	Ændring i hugst	r = 3% r = 6%	
Forlænget 10 år		-21	-202
Forlænget 30 år			
	Svag	133	-27
Forlænget 10 år	Svag	57	-55
Forlænget 30 år	Svag	41	-71
	Svag fra 70 år	-43	-116
Forlænget 10 år	svag fra 70 år	-47	-136
Forlænget 30 år	svag fra 70 år	-29	-144
Skubbet 10 år		-153	-232
Skubbet 10 år	Svag	-35	-88
Skubbet 10 år	svag fra 70 år	-124	-168

I tabel 3.3 og 3.4 er de tilsvarende velfærdsøkonomiske omkostninger vist. Det mønster der sås for de budgetøkonomiske omkostninger genfindes her, dog ligger de, numerisk set, en anelse højere for de fleste scenarier.

Tabel 3.5 viser de budgetøkonomiske omkostninger for skovejeren ved en ændring i driften af rødgran til en svagere hugst. Det ses at være lidt billigere på de ringe end på de gode jorde.

De velfærdsøkonomiske værdier er, som for bøg, en anelse højere, men det er ikke en nævneværdig forskel (tabel 3.6).

Tabel 3.5 Budgetøkonomiske konsekvenser for skovejeren for driftsændringer i rødgran vist som nutidsværdi i kr. pr. fremtidig bundet t CO₂.

Rødgran, plantet, værdi ved anlæg			
Bonitet	Ændring i hugst	r = 3%	r = 6%
ringe	svag	-31	-18
god	svag	-43	-23

Tabel 3.6 Velfærdsøkonomiske konsekvenser for driftsændringer i rødgran vist som nutidsværdi i kr. pr. fremtidig bundet t CO₂.

Rødgran, plantet, værdi ved anlæg			
Bonitet	Ændring i hugst	r = 3%	r = 6%
Ringe	svag	-31	-18
god	svag	-44	-24

For eg på god bonitet ses det af tabel 3.7 og 3.8, at en forlængelse af omdriftsalderen er den billigste måde at spare op på ved en lav rentefod, mens en svagere hugst er den billigste metode ved en høj rentefod. Hvis den svagere hugst kombineres med en længere omdriftsalder bliver det en anelse billigere hvilket viser at en del af omkostningen ved svagere hugst skyldes mindre opnåede dimensioner. De velfærdsøkonomiske omkostninger ses at være en anelse lavere for en forlængelse af omdriftsalderen og en anelse højere for en svagere hugst. Som for bøgss vedkommende ses det at være relativt dyrere at påbegynde en svagere hugst sent i omdriften.

Tabel 3.7 Budgetøkonomiske konsekvenser for skovejeren for driftsændringer i eg på god bonitet vist som nutidsværdi i kr. pr. fremtidig bundet t CO₂.

EG, plantet, værdi ved anlæg			
Ændring i omdriftsalder	Ændring i hugst	r = 3%	r = 6%
forlæng 10 år		-23	-135
forlæng 30 år		-58	-160
	svag	-138	-84
forlæng 10 år	svag	-133	-85
forlæng 30 år	svag	-131	-86
	svag fra 70 år	-246	-190
forlæng 10 år	svag fra 70 år	-216	-186
forlæng 30 år	svag fra 70 år	-198	-185

Tabel 3.8 Velfærdsøkonomiske konsekvenser for skovejeren for driftsændringer i eg på god bonitet vist som nutidsværdi i kr. pr. fremtidig bundet t CO₂.

EG, plantet, værdi ved anlæg			
Ændring i omdriftsalder	Ændring i hugst	r = 3%	r = 6%
	forlæng 10 år	-18	-149
	forlæng 30 år	-56	-179
	Svag	-147	-86
forlæng 10 år	Svag	-141	-87
forlæng 30 år	Svag	-138	-88
	svag fra 70	-265	-199
forlæng 10 år	svag fra 70	-231	-195
forlæng 30 år	svag fra 70	-211	-195

De beregnede omkostninger ligger ganske interessant sammenlignet med CO₂-afgiften, der, pt., er på 3-100 kr./t (Finansministeriet *et al*, 2003). Vedrørende følsomheden af ovenstående beregninger overfor prisændringer på råtræ er disse enkle at opgøre grundet den anvendte metode: Hvis man i ovenstående beregninger øger råtræprisen med 25% øges omkostningen til CO₂-binding med ca. 25% eller falder tilsvarende hvis der er tale om en indtægt (afhængig af det enkelte scenarium).

3.3.3 Potentiale på nationalt plan

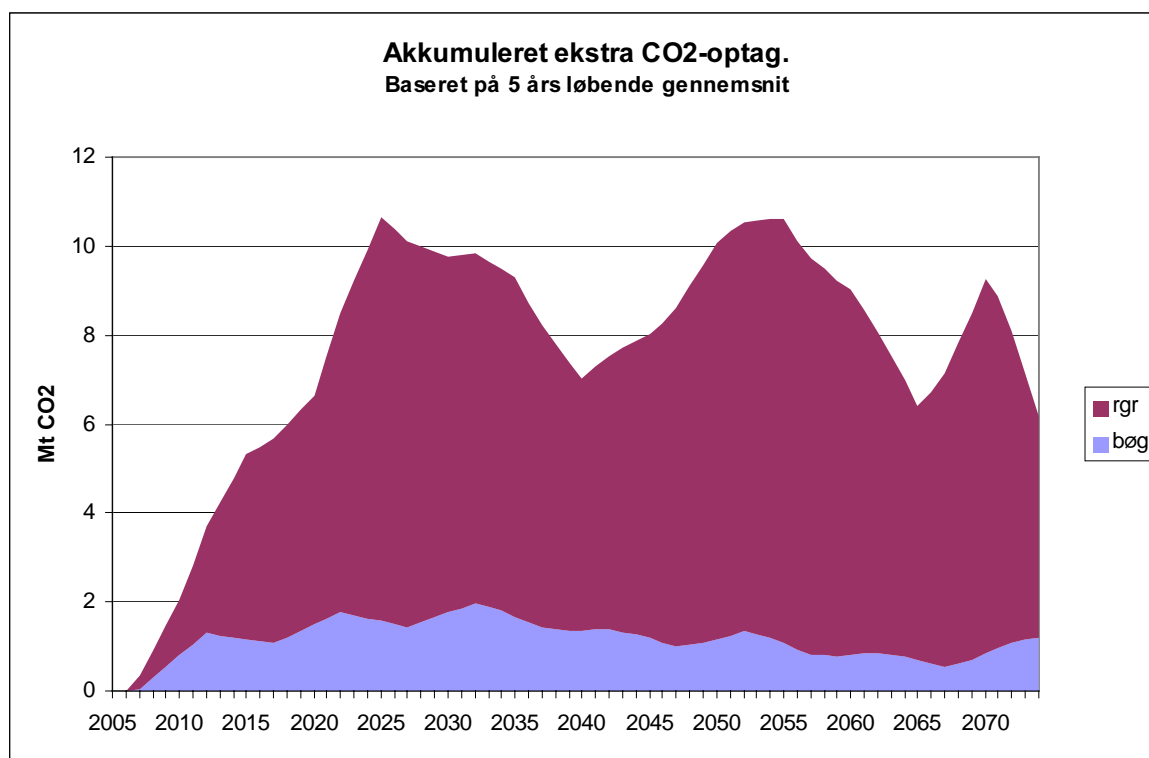
Ovenstående beregninger skal opfattes som marginale omkostninger i den forstand, at de er gældende for tiltag, der samlet ikke har en størrelse, der i væsentlig grad ændrer skovdriften, udbudssituationen, priser på faktor- og outputmarkeder med videre. Hvis man forestillede sig f.eks. større tiltag omfattende store dele af det danske skovbrug kunne det ændre på råtræudbuddet i Danmark og dermed i hvert fald på kort sigt markedspriserne på visse typer råtræprodukter. En korrekt økonomisk analyse af større samlede tiltag vil kræve opbygningen af et samlet modelapparat der kan håndtere netop den type effekter. Dette ligger uden for dette projekt.

Det er imidlertid nødvendigt at kunne perspektivere ovenstående med opgørelser over mulige reduktionseffekter ved tiltag gennemført simultant på i hvert fald dele af det danske skovareal. Dermed kan der opnås fysiske størrelsesordener, der kan sammenholdes med aktuelle hugstmønstre og ovenstående velfærdsøkonomiske omkostninger i en mere nuanceret samlet vurdering af potentialet. Derfor præsenteres her til illustration og inspiration et kombineret scenarium, hvor hele skovbruget omlægges en stor del af rødgranarealerne til svag hugst og en stor del af bøgearealet til en svag hugst og med en forlængelse af omdriften på 10 år. For at illustrere dette benyttes stock change princippet, der jf. indledningen estimerer forskellen mellem et basisscenarium og et scenarium med ændret praksis. Der gøres følgende antagelser med udgangspunkt i aldersklassefordelingen for de danske skove som angivet i Larsen og Johannsen (2002):

- 1) Al bøg drives i cyklisk drift 110/130 år. Halvdelen af arealet falder inden for den gode bonitet og halvdelen inden for den ringe. Arealer der i skovtællingen er ældre end 120 år er udeladt af beregningen, da de enten har et andet driftsformål eller en langt ringere bonitet og ændringer vil derfor først blive foretaget i næste omdrift, hvilket ligger længere ude i fremtiden end analysen her. Hvis alderen er under 120 år forlænges omdriften med 10 år (dvs. til 140 år) og fra næste omdrift foretages desuden svag tynding.
- 2) Også for rødgran antages halvdelen af arealet at være på de gode jorde og halvdelen på de ringe, og endvidere at omdriftsalderen er 55 år på gode jorde og 70 på de ringe. Bevoksninger over 85 år indgår ikke i beregningerne. Det antages at en svagere hugst introduceres på de gode jorde fra alderen 25 år og på de ringe fra 40 år. For bevoksninger over denne alder introduceres den svage hugst først i næste omdrift.

Forskellen i akkumuleret flow er illustreret i Figur 3.1 nedenfor. Det ses at effekten i rødgran er større end i bøg. For bøg er effekten stor de første årier hvor der er en stor ekstra opsparring pga. afdriftsudskyldelsen, men denne effekt stagnerer senere, da omdriften jo ikke forlænges uendeligt. Desuden ses et fald i den akkumulerede ekstra bunde mængde CO₂ når effekten af forlængelse af omdriftsalderen træder i kraft. Ef-

fekten af en svagere hugst i bøg optræder først meget sent i forløbet da foryngelsesprocessen er lang. Den største effekt for bøg fås derfor pga. en udskydelse af CO₂-frigivelsen, mens det for rødgran er en mere jævn årlig effekt, dog med store spring hvor store arealer hovedskoves. I første forpligtelsesperiode vil nettoflowet kunne mindskes med 0,6 Mt CO₂/år og i anden forpligtelsesperiode med 0,3 Mt/år. Over en længere årrække (f.eks. 50 år) reduceres dette dog til 0,02 Mt/år. Ovenstående er et groft skøn, men i og med gennemsnitsdannelsen der er foretaget kommer man tættere på sandsynlige dynamikkens effekt. F.eks. vil en forlængelse af bøgs omdrift i praksis ikke ske diskret, men ved at man hvert år forlænger omdriften på en stadig voksende del af arealet til man kan begynde at hugge af de ældre generationer igen. Årsagen er, at et abrupt stop for hugst i gammel bøg vil sende bøgepriserne og dermed omkostningerne hastigt i vejret. Effekten af de ændrede tiltag er meget langsom og vil først være endelig realiseret efter minimum en rotation.



Figur 3.1 Groft estimat for difference i akkumuleret flow på nationalt plan ved en svag hugst i rødgran og svag hugst og forlænget omdrift i bøg.

3.4 Konsekvenser på råtræmarkedet af en ændret drift

Udfra en marginalbetragtning viser ovenstående at det er relativt billigt at opfylde den årlige manko hvis man kunne indregne CO₂, der løbende oplagres i skov. Imidlertid kan det få yderligere konsekvenser hvis det gøres i større skala, da træmarkedet kan påvirkes. Det kan et større udenlandsk studie illustrere. Alig *et al.* (1998) har analyseret virkningen af en forlængelse af omdriftsalderen og en reduceret hugst på det amerikanske skovbrugs- og landbrugsmarked i en såkaldt ligevægtsmodel. På kort sigt vil begge tiltag føre til et mindsket udbud og stigende priser, hvilket i denne analyse øger skovrejsningen ganske væsentligt. Den mindskede hugst i statsskovbruget har den mindste

indvirkning, da hugsten i forvejen er lav. Virkningen af at øge omdriften er derimod væsentlig og resultatet viser sig meget hurtigt, både på priserne og skovrejsningsarealet. Desuden ændrer fordelingen af habitattyper sig, da den forlængede omdrift kun gælder nåletræet, der således bliver mere attraktivt. Derved konverteres en del løvtræ til nåletræ. På længere sigt er der en modsatrettet virkning, hvor en del jord går tilbage til landbruget, efterhånden som priserne falder igen. Den forlængede omdrift giver efter 10 år (den forlænges med 10 år) en forøgelse af udbuddet af træ. Modellen er teoretisk, og afspejler de generelle effekter sådanne tiltag kan tænkes at få.

Det er dog langt fra sikkert at man i givet fald og i praksis vil se en lignende udvikling i Danmark og EU. For det første er konverteringen mellem arealanvendelser ofte træ og selv om skovbrug skulle blive mere profitabelt end det er i dag, vil en konvertering af landbrugsarealer til skov næppe være driftsøkonomisk profitabelt ret mange steder i Danmark. Desuden er arealkonvertering flere steder hæmmet af lovgivning, så en egentlig ændring af skovarealet på denne baggrund alene er næppe sandsynlig. Dertil kommer, at den danske skovsektor er en del af en lille og åben økonomi. Derfor vil en entydig dansk ændring ikke have stor effekt da det danske nåletræsmarked ikke er prissættende på det internationale marked, men derimod påvirkes af udbud og priser i omverdenen, herunder Sverige og Finland, der er langt større nåletræsproducenter end Danmark (Thorsen *et al.*, 1999). Et mindsket udbud af nåletræ i Danmark vil derfor sandsynligvis ikke føre til generelt øgede priser på lang sigt. Også løvtræmarkedet er internationalt, hvorved Danmark ikke er prissættende. Et mindsket udbud i Danmark i en periode vil sandsynligvis blot føre til øget hugst andre steder i Europa. Hvis flere europæiske lande besluttede at mindske hugsten samtidig for at leve op til Kyoto-protokollen, da kan det eventuelt påvirke verdensmarkedspriserne og i hvert fald på kort sigt de regionale priser. Naturnær skovdrift vil også lede til mindre hugst i skovene (Nabuurs *et al.*, 2002), hvilket sammen med eventuel CO₂-opsparing kan give markedseffekter, men de to tiltag vil ofte kombineres, og effekten vil ikke være additiv.

3.5 Andre muligheder for binding af CO₂ i skov

Der eksisterer andre muligheder for at øge CO₂-opsparingen i eksisterende skov. En oplagt mulighed er et ændret træartsvalg. Over en omdrift står der således i gennemsnit 216 t CO₂/ha for rødgran og kun 157 hhv. 158 t CO₂/ha for eg og bøg i de ovenfor skitserede basisscenarier på den ringe bonitet. Det vil dog være uoverensstemmende med øvrige politiske tiltag for at øge løvtræandelen i Danmark at øge CO₂-bindingen ved at ændre træartsvalget til rødgran. Samtidig er der ligesom ved skovrejsning tale om en meget langsom opbygning af større masser, specielt da en konvertering må afvente omdriftsalderen på eksisterende bevoksninger. En forceret konvertering vil være alt for omkostningsfuld. En anden mulighed er at ændre driftsform til skove med kontinuert skovdække. Det kan dels have en effekt på CO₂ lagret i jordbunden, og dels vil det sandsynligvis medføre en større stående vedmasse pr. ha. Endelig kan man forestille sig lagring i egentlig urørt skov. For alle tiltag gælder forsat, at der vil ophobes vedmasse indtil en ny ligevægt er opnået og der er dernæst ikke tale om et flow.

3.6 Sammenfatning

Ovenstående viser, at der er et potentiale for relativ billig lagring af CO₂ i skov, som det kan være samfundsøkonomisk fornuftigt at udnytte. De marginale velfærdsøkonomiske omkostninger ligger fra -244 til 265 kr./t CO₂. Som ventet illustrerer det i afsnit 3.3.3 simulerede større scenarie, at opsparingen kan ske betydeligt hurtigere ved

denne type tiltag og indenfor de nærmeste forpligelsesperioder nå et større omfang, 0,3-0,6 Mt CO₂/år. Effekten er aftagende efterhånden som det nye højere masseniveau nås. Det skal understreges, at de opgjort marginale omkostninger strengt taget kun er gældende for mindre tiltag, der med sikkerhed ikke påvirker faktor- og outputmarkederne. Til sammenligning svarer den årlige hugst på ca. 2 mio. m³ råtræ til en CO₂-mængde på 2,5 Mt/år, det er altså tvivlsomt om det større samlede scenarie fra afsnit 3.3.3 kan betragtes som marginalt.

Det er imidlertid, pt., ikke muligt at indregne lagring fra ekstraordinære tiltag i eksisterende skove i CO₂-regnskabet for Danmark. Det skal endelig atter understreges, at mens ophobning af CO₂ i eksisterende eller for den sags skyld nye skove, måske nok kan være samfundsøkonomisk attraktivt, men under alle omstændigheder kun kan være en løsning for en periode. Det svarer til at gøre en håndvask større for at udsætte det tidspunkt hvor vandet løber over ('sink' er det engelske ord for håndvask). Det virker indtil vasken ikke kan blive større, derefter løber det over med samme hastighed som ellers. I sidste ende bliver man nødt til at reducere udledningen fra vandhanen. Med andre ord ligger gevinsten ved ændrede driftsformer og øget lagring i skovene i, at vi i dag kan slippe for at reducere CO₂-udslippet andre og dyrere steder, og så bruge den vundne tid til bl.a. at finde ud af hvordan udslippet kan reduceres billigere senere (f.eks. ved teknologisk udvikling).

4. Biobrændsel

Biobrændsel er i modsætning til fossile energikilder CO_2 -neutralt, dvs. det, der frigives ved afbrænding ville under alle omstændigheder være frigivet til atmosfæren af naturlig vej – eventuelt med en mindre forsinkelse. Udover at man ved brug af biobrændsel kan mindske afbrændingen af fossile brændstoffer er der også en lagereffekt svarende til skovrejsningen ved at anlægge f.eks. hurtigtvoksende plantager med henblik på akkumulering af CO_2 og biobrændselsproduktion. De ekstraordinært bundne CO_2 -kvoter kan forbruges andre steder i den mellemliggende periode. Her analyseres substitutionseffekten alene, da det er den der kan medregnes i CO_2 -regnskabet ifølge Kyoto-protokollens regler. Med andre ord indregnes kun den del der erstatter CO_2 -udslip fra andre (fossile) energikilder.

Biobrændsler som træflis handles i stigende grad på et internationalt marked, hvor andre træforbrugende industrier konkurrerer med energisektoren om ressourcen, mens energisektoren holder bioenergiens fordele og pris op mod traditionelle energikilders pris og produktion. Således begrænses den efterspurgte mængde biobrændsel af alternativprisen for anden energi, i Danmark typisk prisen på kul, og udbuddet af træ til biobrændsler bestemmes i høj grad også af alternativprisen for anden anvendelse af træ, typisk prisen på råtræ til træfiberplader og papir. På kort sigt begrænses efterspørgslen desuden af kapaciteten i energisektoren i de forskellige regioner.

I dette kapitel opgøres kort potentialet ved øget brug af biobrændsel internationalt, og specielt ved øget brug af biobrændsler fra de danske skove. Derudover diskuteres omkostningsniveauet ved en eventuel forøgelse af forbruget.

4.1 Den internationale produktion af biobrændsel

Globalt set udgør bioenergi 14% af energiforsyningen (Watson *et al.*, 2000). Den moderne bioenergiteknologi kan give en mere efficient udnyttelse af træbrændselsressourcerne f.eks. ved brug til både produktion af varme og elektricitet i kombinerede kraftvarmewærker, samt nogle steder til gas og transportbrændstof (Cannell, 2003). Hvis man ser på den CO_2 -neutrale produktion af energi, svarer den ikke til den energi den erstatter. Der bruges fossil energi til produktionen af biobrændsel, og energiodnyttelsen per enhed CO_2 er ikke lige høj for biobrændsel og f.eks. kul. Derfor svarer den producerede mængde CO_2 ikke til den mængde CO_2 , den erstatter. Cannell (2003) estimerer at et ton tør biomasse erstatter 1,8 t CO_2 udledt fra kul, 1,6 t CO_2 fra olie og 1,0 t CO_2 fra naturgas. Herved bliver den teoretiske potentielle kapacitet for biobrændsel, der ikke udledes fra fossile brændstoffer, globalt set 7340-18350 Mt CO_2 /år i 2050-2100, hvilket udfra et skøn om gennemsnitlig produktivitet svarer til en konvertering af 800 Mio. ha til produktion af energiafgrøder (Cannell, 2003). Dette svarer til 55 % af det nuværende opdyrkede jord i hele verden. Den realistiske potentielle kapacitet er 3670-7340 Mt CO_2 /år i 2050-2100. Tallet formindskes af, at der vil være et øget behov for fødevareproduktion i fremtiden, efterhånden som verdens befolkning formodes at vokse. Det konservative opnåelige estimat er 734-3670 Mt CO_2 /år (Cannell 2003). De tilsvarende tal for Europa vurderer Cannell (2003) til at være henholdsvis 2202-3303 Mt CO_2 /år, 734-1101 Mt CO_2 /år og 367-734 Mt CO_2 /år.

Globalt set er det vigtigt at overveje, hvilken påvirkning produktion af bioenergi i stor skala vil have på samfundet. Produktion af bioenergi bruger jorde, der kunne bruges til andet. Det er ofte jorde med en høj produktivitet (over 10 m³ pr. ha pr år), hvor produktion af bioenergi er interessant (Cannell 2003). Men disse jorde er samtidig ofte værdifuld landbrugsjord. Alternativet er at udnytte de dårlige jorde, men så kræves større arealer. I u-lande vil plantagebrug måske være mere rentabelt end lokal landbrugsproduktion, hvilket kan skabe mangel på fødevarer og jord og evt. rydning af ny skov (afledte effekter). Andre effekter kan være negative miljøeffekter, f.eks. kan det frygtes at plantageskovbrug har en lavere biodiversitet i forhold til oprindelige skove, uanset at et godt design af plantageskovene måske kan modvirke dette konkrete problem (Watson *et al.*, 2000).

Der er især store begrænsninger i U-landenes mulighed for at konvertere til produktion af biobrændsel, men nogle begrænsninger er gældende for alle lande:

- 1) Der er konkurrence om arealer fra fødevarerproduktionen.
- 2) Energiafgrøder - især stedsegrøn skov – forbruger meget vand, derfor kan det også konkurrere med vandproduktion mange steder.
- 3) Biobrændsel kan kun udnyttes, hvis der er den teknologiske kapacitet, som typisk i dag findes i nogle få i-lande. Derved indebærer produktion i u-lande ofte transport over store afstande til mere effektive aftagere.
- 4) Arealer med energiafgrøder (også træflis) kan være miljømæssigt problematiske (Cannell 2003), pga. den ofte intensive produktion.

Derved bliver det årlige realistiske potentiale for bioenergiproduktion i EU15 21-32% af den aktuelle udledning, mens det for binding i skov estimeres til 5-11% (Cannell, 2003). Den afgørende forskel er, at binding i skovens biomasse er tidsbegrænset, da skovene vil nå en ny, højere ligevægt, hvorefter netto-bindingen vil være nul. I modsætning hertil er øget anvendelsen af biobrændsel et flow, der vil medføre en mere permanent sænkning af netto-udslippet af drivhusgasser fra menneskelig aktivitet.

4.2 Den danske produktion af biobrændsel

Produktionen af træflis i Danmark har været stigende igennem det sidste årti. I perioden 1991-2001 steg produktionen godt 250% fra ca. 100.000 m³/år til ca. 260.000 m³/år (Larsen og Johannsen, 2002). Det er hovedsagligt nåletræ, der aflægges til flis. Den stigende produktion af træflis skyldes blandt andet investeringer i biomassefyrede kraftvarmeværker. I 2002 åbnede Herningværket, som alene aftager 200.000 m³ flis årligt. Dette øger afsætningsmulighederne for flis.

Med denne stærkt stigende efterspørgsel efter flis har det være interessant at se på den mulige potentielle flisproduktion i Danmark. Dertil kommer produktion af andre biobrændsler (f.eks. brænde). Nord-Larsen og Heding (2003) har lavet en biobrændselsprognose, der dækker de næste 30 år. Prognosen forholder sig ikke til den økonomiske side, men bygger derimod på eksistensen og produktionen af træressourcer i skovene. Derfor kan prognosen ses som den teoretisk potentielle tilgængelighed af træflis.

Den nuværende driftsform i skovbruget aflægger flis i de tidlige tyndinger i nåletræ samt fra afvikling af bjergfyr og i bevoksninger med meget skadede træer (f.eks. pga. råd). Rapporten estimerer at den potentielle tilgængelighed af træflis ved den nuværende driftsform er 0,65-0,80 mill. m³/år inkl. løvtræflis. Denne mængde kunne øges væsentligt, hvis man gik over til at udnytte trætoppe fra senere tyndinger og fra hovedskovning. Fortsættes den nuværende drift, vil den potentielle tilgængelighed være uændret i perioden 2010-2019 og stige til 0,80-0,90 mill. m³/år. Med en stigende efterspørgsel efter flis vil det måske blive rentabelt at udnytte hugstaffaldet fra hovedskovninger. Hvis denne ressource udnyttes, vil den potentielt tilgængelige mængde stige til 0,80-0,90 mill. m³/år for den indeværende periode, svarende til 100.000-150.000 m³ ekstra flis. Hvis hugstaffald fra sene tyndinger ydermere udnyttes, vil det få den potentielt tilgængelige mængde til at stige til 1,0-1,1 mill. m³/år. Dertil kommer brænde, således at den potentielle tilgængelige produktion af biobrændsel er 0,9-1,3 mio. m³/år, hvis trætoppe udnyttes 1,1-1,5 mio. m³/år, og hvis der hugges flis i kombinerede tyndinger 1,3-1,7 mio. m³/år.

4.3 Potentiel CO₂-effekt ved øget brug af biobrændsel i Danmark

Hvis det antages at træbrændselsressourcen vil fordele sig på løv og nål som den har gjort de seneste 10 år vil 48% stamme fra løvtræ og 52% fra nåletræ. Dette indebærer en årlig produktion af 1,1-2,1 Mt CO₂/år afhængig af hvilket af ovenstående forbrugs-scenarier, der vil være tale om (omregningsfaktorer er taget fra Larsen og Johannsen, 2002). Som nævnt ovenfor anvendes der ofte fossilt brændsel ved produktion af bioenergi og energiudnyttelsen er ringere end for andre energikilder. Anvendes Cannell's (2003) omregningsfaktorer for dette forhold erstatter det med andre ord 0,45-0,85 Mt CO₂ udledt fra kul, 0,40-0,75 Mt CO₂ udledt fra olie og 0,25-0,48 Mt CO₂ udledt fra naturgas. Den samlede potentielle yderligere reduktion i CO₂ ved anvendelse af træflis-ressourcen anslås dermed til at ligge mellem 0,4 Mt/år og 0,7 Mt/år hvis det reducerer udslippet fra olie, kul og naturgas svarende til den i dag anvendte fordeling. Regeringens målsætning er en reduktion på 25 Mt CO₂/år (Finansministeriet 2003) og dermed rummer biobrændsel fra de danske skove potentiale for en besparelse på op til 2,8% af målsætningen.

Uanset ændringer i driftsformen i det danske skovbrug findes således en potentiel tilgængelig ressource, der ikke er udnyttet fuldt ud. Indtil nu har markedet været drevet af efterspørgslen efter skovflis fra kraftvarmeværkernes side og ikke udbuddet af flis. Det må forventes at en større international efterspørgsel, evt. sammen med stigende priser, vil øge udbuddet af flis tilsvarende.

4.4 Overvejelser om omkostninger ved øget brug af træbrændsler

Hvorvidt det er bedst at bruge skovene og konkrete bevoksninger til bioenergi eller lagring, for så vidt der er tale om et valg, vil antageligt variere med træart, bevoksningsalder, og økonomiske og produktionsmæssige faktorer i øvrigt. Normalt vil det udfra et CO₂-perspektiv være mest effektivt at udnytte langsomtvoksende skove som CO₂-lager og hurtigt voksende til produktion af biobrændsel. Som denne rapport's kapitel 3 dokumenterer er det aktuelt billigt, samfundsøkonomisk set, at lagre yderligere CO₂ i de eksisterende danske skove, mens kapitel 2 dokumenterer, at den samfundsøkonomiske omkostning ved at lagre CO₂ ved brug af skovrejsningsprojekter vil variere stærkt med skovenes beliggenhed og andre faktorer.

Den samfundsøkonomiske omkostning ved at øge flisproduktionen i de danske skove væsentligt, dvs. udover hvad markedet aktuelt finder optimalt, bestemmes ikke her, da det vil kræve en relativt omfattende modellering af sektoren. Man kan dog få et indtryk af de marginale omkostninger: Aktuelt er produktionsomkostningen for 1 t træflis 429 kr., og handelsprisen for 1 t. træflis er 491 kr./t. Øges produktionen ved at udnytte mindre dimensioner, der i dag efterlades i skovene vil den marginale produktionsomkostning stige fra dette niveau. Alternativt kan produktionen øges ved at opkøbe større dimensioneret træ, der i dag afsættes til andre formål. En ide om den marginale omkostning ved at forfølge denne vej kan man få fra de skovbrugsøkonomiske sortimentstabeller og priserne på disse konkurrerende anvendelser. Prisen på cellulosetræ ligger på 149 kr/m³ og for emballagetræ 165 kr/m³, dvs. hvis det blev udnyttet til træflis ville prisen blive hhv. 426 og 470 kr/t plus eventuel en oparbejdningsomkostning. Dette antyder, at marginale forøgelser af flisproduktionen kan fremskaffes for i det mindste meget lave velfærdsøkonomiske omkostninger. Hvis man udnytter større dele af ressourcen, så man gør indhug i de lidt større råtrædimensioner, her f.eks. tømmer mindre end 20 cm vil prisen aktuelt blive 756 kr./t flis – altså ret høj.

Der foregår imidlertid allerede en ikke ubetydelig import af træflis til energi til konkurrencedygtige priser. Dermed er der reelt mulighed for at øge bioenergiforbruget betydeligt uden væsentlige øgede omkostninger for så vidt angår omkostningen til anskaffelsen af biobrændslet. Omkostninger ved omlægning og investering i øget kapacitet i energisektoren er ikke behandlet her.

4.5 Sammenfatning

Den samlede potentielle yderligere reduktion i det danske udslip af CO₂ ved anvendelse af træflisressourcen anslås til at ligge mellem 0,4 Mt CO₂/år og 0,7 Mt CO₂/år hvis det reducerer udslippet fra olie, kul og naturgas svarende til den i dag anvendte fordeling. Regeringens målsætning er en reduktion på 25 Mt CO₂/år (Finansministeriet 2003) og dermed rummer biobrændsel fra de danske skove potentiale for en besparelse på op til 2,8% af målsætningen.

Marginalomkostningen ved en forøgelse af træflisforbruget vurderes at være minimal da en række andre sortimenter har priser der ligger på niveau med flis eller sågar lavere. Ønsker man at øge produktionen af dansk træflis yderligere vil det enten indbefatte nyttilplantning af arealer, eller en stor offeromkostning, da alternativ prisen på langtømmer svarer til over 700 kr./t CO₂.

Der foregår imidlertid allerede en ikke ubetydelig import af træflis til energi til konkurrencedygtige priser. Dermed er der reelt mulighed for at øge bioenergiforbruget betydeligt uden væsentlige øgede omkostninger for så vidt angår omkostningen til anskaffelsen af biobrændslet. Omkostninger ved omlægning og investering i øget kapacitet er ikke behandlet her.

5. De internationale muligheder

I dette kapitel gennemgås mulighederne for at opfylde CO₂-reduktionsforpligtelser gennem internationale transaktioner og aktiviteter. Gennemgangen er relativt kortfattet da rapportens hovedfokus er de danske skoves mulige rolle i Kyoto-processen og da de internationale instrumenter ikke eller kun i ringe grad kan forventes at have betydning for forvaltningen af de danske skove.

Udledning af CO₂ er en global problemstilling, og det gør ingen principiel forskel, hvor reduktion af CO₂-udledning foregår. Dertil kommer, at udledning af CO₂ er en ”uniformly mixed pollutant”, dvs. det har samme effekt på den globale opvarmning uanset oprindelsen (Hanley *et al*, 1997). Derfor kan Danmark opfylde sin reduktionsforpligtelse ved at facilitere og betale reduktion i andre lande. Der findes i Kyoto-protokollen tre forskellige mekanismer hvormed Danmark kan imødegå i hvert fald dele af sin reduktionsforpligtelse uden at reducere udledningen indenfor landets grænser. Disse mekanismer giver mulighed for en potentielt mere omkostningseffektiv opfyldelse af den danske reduktionsforpligtelse.

- ”Clean Development Mechanism” (CDM): Projekter der implementeres i u-lande uden reduktionsforpligtelser og betales af i-lande med reduktionsforpligtelser under betingelse af, at der samtidig overføres teknologi og kapital til det pågældende u-land.
- ”Joint Implementation” (JI): Projekter implementeret i et andet land, der har tiltrådt Kyoto-protokollen, typisk andre i-lande eller såkaldte ’transition economies’.
- Handel med CO₂-kreditter mellem lande, der har tiltrådt Kyoto-protokollen.

I oplægget til klimastrategi 2003 samt den efterfølgende vedtagelse gøres det klart at Danmark ønsker at benytte sig af disse mekanismer for at opfylde sine reduktionsforpligtelser (Regeringen 2003). Det skal påpeges, at det af det foreliggende forslag til direktiv om en ordning for handel med kvoter for drivhusgasemissioner i Fællesskabet fremgår, for så vidt angår Kyoto-protokollens projektmekanismer (EU-Kommissionen, 2003), at EU ikke vil acceptere at CDM- eller JI-projekter, der er rettet mod brug af sinks godskrives EU’s medlemsstater. Dermed begrænses skovrelaterede JI og CDM-projekter udført af EU-lande på kort sigt og i praksis til projekter indenfor bioenergiområdet. Men bilaterale statslige projekter mellem stater der har tiltrådt aftalen er dog stadig mulig.

5.1 Clean Development Mechanism (CDM)

CDM-projekter implementeres som udgangspunkt i u-lande hvor projekterne tillige skal have et bredt sigte, hvor der tages økologiske og sociale hensyn. Et CDM-projekt er et projektbaseret samarbejde mellem et Annex I land og et ikke-Annex I land, hvor Annex I landet køber projektets opnåede CO₂-kreditter af CDM-projektets værtsland og derved potentielt opnår reduktionen billigere end ved indenlandsk reduktion. Projekterne vurderes af ”the executive board for CDM” under Kyoto-protokollen, hvor hvert enkelt projekt godkendes og den forventede CO₂-kredit beregnes. Dette skal sikre, at der er tale om additionelle projekter samt at en bæredygtig udvikling sikres.

Det økonomiske rationale er, at rene investeringer kan vise sig at være billigere i udviklingslande end en national indsats i industrialiserede lande (Dutschke, 2002). Dertil kommer et ønske om at hjælpe udviklingslande med en bæredygtig udvikling. Ved at forpligte i-landene til at overføre teknologi og kapital til u-lande giver CDM u-landene et incitament til at skabe emissionsreducerende projekter og dermed mindske deres incitament til at "free-ride" på i-landenes reduktionsbegrænsning. Free-rider effekten findes idet CO₂-binding er et globalt offentligt gode som kommer alle nationer til gode uanset, hvem der foretager CO₂-bindingen. Den globale opvarmning har dog ikke lige stor effekt i alle lande, hvilket kan være en af grundene til, at det er svært at lave globale aftaler om reduktionens omfang.

Carbon-kreditter har en værdi som handelsobjekt pga. en skyggepris på CO₂-emissioner for Annex I parten, som har en forpligtende reduktionsbegrænsning. Ved CDM-projekter, som skovrejsning, genetablering af skove og beskyttelse af skove har værtslandet nogle offeromkostninger i form af f.eks. mistet indtægt fra udnyttelse af tømmerressourcen, eller anvendelse af jorden i den bedste alternative anvendelse, som kunne være landbrug. Så længe værtslandets marginale offeromkostninger ved et givet projekt er lavere end Annex I partens marginale teknologibaserede reduktionsomkostninger vil der være et incitament for begge parter til at handle. Der ligger altså en potentiel velfærdsforbedring i handlen, hvis Annex I parten kan kompensere værtslandet for dets inoptimale arealudnyttelse og stadig være bedre stillet end uden projektets gennemførelse (Freeman 1999). Forskellen mellem værtslandets marginale offeromkostninger og investorlandets marginale reduktionsomkostninger udgør et økonomisk overskud. Hvordan dette fordeles mellem parterne afhænger af markedsprisen på CO₂-kreditter.

Af CDM-projekter kræves der udover additivitet mht. emissionsniveau også finansiell additivitet. Finansiell additivitet skal sikre, at den støtte/handelsværdi CO₂-bindingen i et CDM-projekts udledningsenheder kan opnå ikke begrænser den eventuelle u-landsbistand fra Annex I landet til det pågældende ikke-Annex I land. I modsætning til f.eks. JI og IET giver CDM potentielt mulighed for 'banking' af den reduktion, der opnås i perioden fra 2000-2008, til at imødegå reduktionsforpligtelsen i den første forpligtelsesperiode 2008-2012 (UNFCCC 1997, artikel 12,10). Banking kan tale til fordel for CDM i forhold til JI og handel med CO₂-kvoter såfremt det bliver endeligt vedtaget.

Det nævnes ikke eksplicit i artikel 12, at jordbrugs- og skov-projekter kan indgå under CDM som det eksempelvis er tilfældet i artikel 3, der fastslår, at de skal medregnes i den samlede emission indenfor regionen af Annex I lande.

Blandt udviklingslandene har der været divergerende meninger om, hvorvidt CO₂-sinks bør indgå i CDM. Marrakesh-aftalen lægger et loft på hvor meget sinks i eksisterende skove i det hele taget kan bruges, og dette må forentes også at gælde CDM-projekter. Latinamerikanske lande, især Costa-Rica, og afrikanske lande har været fortalere for at føje sinks til CDM. Lande som Indien og Kina har modsat sig at lade sinks indgå under CDM. Især har Kina været bekymret for, at billig reduktion gennem sinks kan fortrænge teknologisk betinget reduktionsbegrænsning (Woerdman og van der Gaast, 2001). Selvom jordbrugsprojekter ikke nævnes direkte i artikel 12 som et CDM-projekt anslås det af Yamagata & Alexandrov (2001), at 25 pct. af Annex I lan-

denes samlede emissionsreduktion i den første forpligtelsesperiode 2008-2012 på mindst 2753 Mt CO₂ vil kunne opfyldes ved hjælp af sinks under CDM.

I forbindelse med CDM kan man forvente meget høje transaktionsomkostninger, hvilket da også regnes for et af mekanismens største handicaps (Woerdman & van der Gaast 2001, Jepma *et al.*, 1998). Høje transaktionsomkostninger i forbindelse med CDM i forhold til JI og handel med CO₂-kreditter skyldes først og fremmest, at CDM-projekter i hvert enkelt tilfælde skal dokumentere reelle, målbare og langtidsholdbare fordele (UNFCCC 1997, artikel 12,5 (b)). En endnu ikke defineret tredjepart skal desuden lave en vurdering af det antal CO₂-kreditter et givet projekt kan tildeles. En del af disse transaktionsomkostninger ligger i bestemmelsen af baseline scenariet, som Woerdmann (2001) argumenterer for kan nedbringes væsentligt ved indførelse af en standardiseret baseline bestemmelse som inddeles efter region, tidshorisont og projekttype. Viser det sig derefter, at baseline scenariet afviger meget fra ex ante beregningen kan det evt. reguleres ex post. Ved pilotprojekter i Costa-Rica har man garderet sig mod denne usikkerhed angående investeringens holdbarhed ved, som standard, at udvide projektarealet med ”reserve-arealer” (Chomitz *et al.* 1998)

Det må antages at der i i-lande findes langt stærkere kapaciteter til overvågning og certificering af realiserede CO₂-kreditter, hvorfor i-landene må forventes at have bedre information og stå stærkere i prisforhandlingen end de u-lande, der er meget interesseret i at få tilført fremmed kapital.

Der er endnu ikke fastsat regler for projekter, der bygger på binding af CO₂. Der er i øjeblikket en proces i gang for at fastsætte reglerne for skov og andre naturtyper (IUCN, 2002), om blandt andet dette. IUCN (2002) opregner dog følgende krav til CDM-projekter:

- Performance (opfyldelse): Reduktionerne skal være ægte, målbare og have en langsigtet forbedrende virkning på verdens klima. Risikofaktorer kan være naturforhold (storm, skadedyr, klimaændringer), menneskeinducerede trusler som skovafbrænding, uklare ejendomsrettigheder, ændrede jordpriser osv.
- Additionality (additivitet): Projekterne skal være additive, det vil sige det skal være CO₂-reduktioner ud over, hvad der ellers ville være sket. Der findes 3 kriterier: Finansiell additivitet: at projektet er dyrere end tilsvarende projekter, fordi CO₂-optaget indbygges. Teknologisk additivitet: projektet resulterer i introduktion af ny miljøvenlig teknologi eller fjerner teknologiske begrænsninger. Institutionel additivitet: Projekter der går ud over lovmæssige krav eller fjerner institutionelle begrænsninger.
- Non-leakage (ingen eksterne svind): At projektet fører til øget udslip eller mindsket optag udenfor projektets grænser som et resultat af projektets aktiviteter. Et eksempel er skovrejsning på arealer, der ellers ville være udnyttet til landbrugsproduktion. Derved kan de nuværende landbrugere fortrænges til andre arealer og dér starte afskovning.

Inden for skovbrug er der under CDM mulighed for gen- og nytplantning af skov. Binding af CO₂ i biomasse er særdeles interessant i u-lande sammenlignet med i-lande,

da væksten ofte er langt højere, omkostningerne lavere og potentialet derfor større. En række pilotprojekter fra både Costa-Rica og Malaysia viser, at denne type projekter kan forventes at være særdeles omkostningseffektive (Chomitz et al. 1998, Kągi 2000, DiNicola et al. 1997, Woerdmann & van der Gaast 2001).

Den eneste reelle mulighed for skov-projekter i første forpligtelsesperiode under CDM er derfor skovrejsning, som diskuteres nedenfor. Endnu er ingen projekter som er godkendte af den eksterne komité (se <http://unfccc.int/cdm/>), og det ser specifikt ikke ud til at EU-landene får mulighed for at indgå i sådanne projekter (EU-kommisionen 2003) undtagen ved bilaterale aftaler.

5.1.1 Skovrejsning under CDM

Muligheden for at inkludere binding i levende biomasse i CDM har været meget diskuteret og ombrust politisk. I forbindelse med binding af CO₂ i udlandet har der fra miljøinteresseorganisationernes side været udtrykt frygt for at binding i skov ikke er permanent, men vil blive brugt af Annex-I landene i stedet for permanente reduktioner i forbruget af fossilt brændstof. Set fra u-landenes side, er teknologiske investeringer gennem CDM, f.eks. i forbedret energiudnyttelse af langt større værdi for landene end skovinvesteringer. Samtidig har de frygtet "Kyoto-land": At store arealer i landene bliver bundet langt ud i fremtiden og derved forhindrer og forsinkes deres økonomiske udvikling fordi de ikke har suveræn mulighed for at bestemme deres arealudnyttelse. Selv om der ikke er tale om en permanent binding men i stedet om en lang forpligtelse, kan det være negativt for u-landene, at en bindingsperiode på 50 eller 100 år er uendeligt meget længere end deres (og vores) politiske og økonomiske planlægningshorisont. Hvad der ser ud til at være en god investering i dag kan jo vise sig at være en byrde i fremtiden. Denne sidste bekymring er især blevet fremført af de u-lande med højere økonomisk vækst: at Annex-I landene vil opbruge alle de billige muligheder for reduktioner i u-landene, så deres egne fremtidige reduktioner bliver uforholdsmæssigt dyre og derved forhindrer dem i at deltage i Kyoto-protokollens aftaler på lige fod med de nuværende Annex-I lande. Et andet vigtigt aspekt i denne problemstilling er også den store usikkerhed der er knyttet til fremtidens priser og efterspørgsel på CO₂-kreditter.

Vliet *et al.* (2003) har undersøgt omkostningen og potentialet ved kulstofbinding og reduceret udslip ved skovprojekter via CDM. De finder, at omkostningen er under 3 US\$/t CO₂ for en række undersøgte skovplantningsprojekter i Brasilien, dog med en usikkerhed afhængigt af projektets type på 200% (etablering af gummi-, palmeolie-, teakplantager blev undersøgt, foruden konvertering af en eksisterende skov til trækulsudnyttelse, samt to forskellige udnyttelser af eukalyptusplantager). Dette viser at prisen er langt lavere end ved mange former for skovrejsning i Danmark.

5.2 Joint Implementation (JI)

JI er et projektbaseret samarbejde med et andet (typisk østeuropæisk) land, som også har en reduktionsforpligtelse. CO₂-kreditter opnået ved et JI-projekt deles mellem de to lande. Det er baseret på Kyoto-protokollens artikel 6. JI har store ligheder med CDM eller egentlig kvotehandel afhængig af implementeringsformen. Derfor er gennemgangen her relativt kortfattet.

Den økonomiske baggrund for denne type projekter er at foretage CO₂-reduktion i det land hvor det er billigst internationalt set. Der kan grundlæggende følges to forskellige

spor, som afhænger af hvorvidt de involverede lande opfylder indrapporteringsforpligtelserne eller ej. Følges spor J1, så opfylder landene deres indrapporteringsforpligtelse og projektet minder meget om egentlig handel med CO₂-kvoter, se nedenfor. Hvis ikke, følges spor J2 som minder en del om CDM, hvor reduktionsmålene baseres på en basislinjeberegning og hvor en ekstern enhed kontrollerer projektet. Kontrollen ses som et vigtigt element da forsøg med snyd med størrelsen af reduktionsmålene kan forventes (Michaelowa, 1998). Som i almindelige projekter gælder her også additivitets-princippet. Der må altså ikke være tale om f.eks. binding af biomasse, som alligevel ville være sket. Som for CDM udvikles 'baselines' hvorefter det ekstra CO₂ bundet / ikke udledt kan beregnes.

Inden for skovbrug er der i JI mulighed for projekter som omhandler skovrejsning, gen- og nyttilplantning af skov samt initiativer som beskytter mod afskovning (Anonym, 2003a). Østeuropa indeholder betydelige skovressourcer og gentilplantning af arealer ryddet før 1989 samt beskyttelse mod skovrydning ses derfor som de mest oplagte muligheder. Et problem i denne forbindelse er naturligvis at definere, hvornår et skovareal potentielt ryddes og hvornår ikke. Dertil kommer den førnævnte usikkerhed om det i EU besluttet ikke at medregne sinks ved JI-projekter.

Danmark har indgået samarbejdsaftaler om JI-projekter med en række østeuropæiske lande og forhandler pt. med flere. Af projekter under forberedelse findes f.eks. et vedrørende biobrændselsanlæg med savsmuld som brændselskilde i Rumænien. I et hollandsk bioenergiprojekt i Tjekkiet estimeres omkostningen til at være 9 □ /t CO₂ med en kapacitet på 0,5-1,2 Mt CO₂ i perioden 2008-2012 (Anonym, 2003b).

Igen skal det påpeges, at brugen af sinks generelt er begrænset i Marrakesh med angivelse af lofter for de enkelte lande. Det er ikke helt klart, om disse gælder i forbindelse med JI og CDM-projekter, og om det i givet fald er donor eller recipients grænse, der gælder.

5.3 Handel med CO₂-kreditter

Ifølge Kyoto-protokollens artikel 17 kan handel med CO₂-kreditter foregå mellem lande, der har tiltrådt Kyoto-protokollen som et led i bestræbelserne på at opfylde reduktionsforpligtelserne. Herunder er det også tilladt for en gruppe Annex I lande at differentiere reduktionsforpligtelsen indenfor deres region ved anvendelsen af bubbles-konceptet dvs. hvor den samlede udledning grupperes og accepteres blot den ikke overskrider et samlet specificeret niveau. Denne tilføjelse er sket efter ønske fra EU (Jepma *et al.* 1998). Ved handel med CO₂-kreditter er det dog ikke muligt foretage banking af kvoter, dvs at bruge overskudskreditter fra én periode til at imødegå reduktionsforpligtelsen i næste periode. Tanken er at reduktion skal foregå hvor det er billigst. I princippet er det først udledning efter 2008 der indregnes.

Da visse østeuropæiske lande (f.eks. Rusland og Ukraine) har haft en reel nedgang i CO₂ siden basisåret 1990, har de 'gratis' kvoter som kan sælges eller bruges af dem selv. Disse kreditter, ofte kaldet 'varm luft' opfattes ofte som havende en omkostning på 0 kr. for landene. Men i da disse lande kan se frem til en vækst i deres energiforbrug i takt med den økonomiske vækst har hver kvote en skyggeomkostning i form af de begrænsninger et salg af kvoten nu vil lægge på landenes udvikling og tilpasning til den

lavere kvote i fremtiden. Dermed vil markedet uanset hvor lav en efterspørgsel, der måtte være, med sikkerhed ende med at handle kreditterne til væsentligt over 0 kr. Endnu er der ikke tydeligt hvordan funktionen med handel med CO₂-kvoter vil udvikle sig. Butzengeiger *et al.* (2001) diskuterer overvejelser vedrørende markedsvilkårene. De mener at et internationalt marked, hvor de enkelte enheder (virksomheder og kraftværker) deltager direkte, kan føre til en række praktiske problemer med at sikre, at det enkelte land kan opfylde sine forpligtigelser. Dette kan kun undgås ved at indføre en mulighed for at stoppe markedet, hvis der bliver solgt for mange kreditter ud af landet. En sådan mulighed fører til et marked med stor usikkerhed for de deltagende parter. Modsat er et frit og velfungerende marked vitalt for at sikre det rette incitament til at skabe CO₂-reduktion i den enkelte virksomhed. Alternativet er en indirekte deltagelse, hvor enhederne kan handle nationalt frit, men kun kan handle internationalt indirekte, f.eks. gennem en national myndighed. Butzengeiger konkluderer at et nationalt marked bør:

- Baseres på absolutte og ikke relative reduktioner for at undgå at en øget produktion kan give virksomheden kreditter direkte.
- Baseres på store virksomheder. For el til private bør det være producenten, der er den ansvarlige, da forbrugerne er for små. For den private transportsektor bør det ligeledes være importører eller store distributører, der deltager (upstream inclusion).
- Deltagerantallet bør være så højt som muligt og deltagerne bør være inhomogene i reduktionsmuligheder og omkostninger. Derfor bør det ikke være frivilligt at deltage for de store forurenere. De små bør have mulighed for at deltage frivilligt.
- Der skal være så mange gasser med som muligt.
- Der skal eksistere et monitoringssystem, som sikrer at det er reelle emissioner, ikke forventede, der indgår i handler. Ellers fjernes en del af incitamentet og det gør systemet uretfærdigt.
- CO₂-kreditter skal allokeres ved markedets opstart. Dette er primært et politisk anliggende, men kunne f.eks. gennemføres som en kombination af grand-fathering og auktioner, hvor det meste fordeles gratis efter den nuværende udledning og resten bortauktioneres.
- Hvis enhederne overtræder deres lovlige emission, skal de straffes: 1) gennem en finansiell straf, altså en bøde, 2) ved at få forhøjet næste forpligtelse tilsvarende, 3) ved at blive ekskluderet fra muligheden for at deltage i markedet eller 4) gennem offentliggørelse af overtrædere.

5.3.1 CO₂-priser

Missfeldt og Haites (2001) viser, at Annex II landenes omkostninger til opfyldelse af deres Kyoto-forpligtelser afhænger meget af, hvilke typer af sinks, det er muligt at udnytte. Men alene muligheden for at udnytte sinks, som beskrevet i Bonn-aftalen reducerer omkostninger med næsten 30%. Samtidig falder indtægterne for de resterende

Annex B lande og u-landene, da der bliver investeret mindre i disse områder. De påregner at marginalomkostningerne bliver på 4,09US\$/t CO₂ i Annex B landene og 2,04 US\$/t CO₂ i u-landene. Dette er så lav en pris, at det fortrænger mange andre, teknologibaserede investeringer i disse lande. Bonn-aftalen giver en fordeling af investeringer på 30 milliarder US\$ i Annex II landene, og knap 30 milliarder i henholdsvis resten af Annex B landene og i non-annex B landene (u-lande).

De fleste er enige om, at markedet for CO₂-kreditter vil være karakteriseret af lavere efterspørgsel og lavere priser end oprindeligt forventet (f.eks. Copenhagen Economics, 2002). Dette skyldes at USA har valgt ikke at ratificere Kyoto-protokollen.

5.4 Sammenfatning

Udledning af CO₂ er en global problemstilling, og det gør som sagt ingen principiel forskel, hvor reduktion af CO₂-udledning foregår. Derfor kan Danmark opfylde sin reduktionsforpligtelse ved at facilitere og betale reduktion i andre lande. Der findes i Kyoto-protokollen tre forskellige mekanismer hvormed Danmark kan imødegå i hvert fald dele af sin reduktionsforpligtelse uden at reducere udledningen indenfor landets grænser. Disse mekanismer giver mulighed for en potentielt mere omkostningseffektiv opfyldelse af den danske reduktionsforpligtelse. Det drejer sig om Clean Development Mechanism (CDM), Joint Implementation (JI) og endelig handel med CO₂-kreditter.

Det mulige potentiale i disse instrumenter er meget stort og naturligt nok langt større end de danske skoves samlede mulige bidrag. Mere væsentligt er det, at de aktuelt forventede priser ved flere af disse instrumenter kan blive meget lave, så lave at kun bynær skovrejsning og visse former for akkumulering i eksisterende danske skove kan konkurrere. Afhængig af udviklingen af bioenergisektorens teknologiske effektivitet samt markedet for bioenergiprodukter vil øget brug af bioenergi eventuelt også forsat fremstå som et muligt og passende attraktivt initiativ.

6. Sammenfattende konklusion

Denne rapport har haft til formål at belyse kvantitative og samfundsøkonomiske aspekter af skovens potentielle rolle som binder af CO₂, dels gennem skovrejsning og som producent af bioenergi i relation til Kyoto-processens nuværende stadie, og dels gennem mulige udviklinger i brugen af såkaldte sinks, her specielt lagring i eksisterende skove. Derudover har rapporten kort diskuteret Kyoto-protokollens fleksible mekanismer i relation til skov-orienterede projekter. I det følgende opsummeres kort de samlede resultater. Der opstilles endeligt en liste med policy-relevante pointer både i relation til de eksisterende skovrejsningsaktiviteter, de mulige nye tiltag og den internationale klimapolitiske proces.

6.1 Sammenstilling af resultater

Skovrejsning er et af de initiativer, der fuldgældigt accepteres i Kyoto-protokollen, også for den første periode. Eksisterende skovrejsning og skovrejsningsaktiviteter vil resultere i et optag på 0,28 Mt CO₂/år i den næste forpligtelsesperiode, årene 2008-2012 voksende til 1,27 Mt CO₂/år, i 2040. Denne rapport har analyseret effekterne af et yderligere skovrejsningstiltag, der vil øge den samlede skovrejsning med 1.500 ha/år i 20 år fra 2002, i alt 30.000 ha. Effekten af tiltaget er en øget CO₂-binding på i gennemsnit 0,034 Mt CO₂/år i forpligtelsesperioden 2008-2012, voksende til 0,380 Mt CO₂/år i 2040. Den velfærdsøkonomiske omkostning regnet i kr./t CO₂ bundet i dette scenario varierer meget på tværs af de underliggende projektyper. Ved en rentefod på 6 % har et bynært projekt en negativ omkostning på -577 kr./t CO₂, mindre private projekter en omkostning på 555 kr./t CO₂ og et større naturorienterede projekt har en omkostning på hele 911 kr./t CO₂. Sidstnævnte er dog helt sikkert overvurderet grundet begrænset værdisætning af biodiversitetsgevinster og grundvandseffekter. Det samlede scenarium er sammensat som 1.000 ha af den private skovrejsning og 250 ha af hver af de to andre typer skovrejsning. Dermed lander den velfærdsøkonomiske pris ved dette initiativ på i gennemsnit 426 kr./t CO₂. Den samlede mængde ekstra bynære skovrejsning indregnet i dette initiativ vil over perioden blive på 5.000 ha. Det vurderes derfor, at denne gennemsnitlige pris kan forbedres noget, såfremt Miljøministeriet målrettet forfølger strategien om at satse på bynær skovrejsning.

Et instrument, der ikke aktuelt er fuldt accepteret i henhold til Kyoto-protokollen er CO₂-binding i eksisterende skove. Binding i eksisterende skov går væsentlig hurtigere end ved skovrejsning, simpelthen grundet den hurtigere vækst. En række scenarier på bevoksningsniveau er analyset og eksempler på aggregerede tiltag er givet. En ændret drift i eksisterende skove vurderes i hvert fald at kunne give et potentiale på 0,6 Mt CO₂/år allerede i første forpligtelsesperiode, over en længere tidshorisont vil potentialet dog falde. Den velfærdsøkonomiske omkostning vil variere med tiltagets art, men ligger i intervallet fra -244 til 265 kr./t CO₂. En betydelig del af tiltagene har en velfærdsøkonomisk omkostning tæt ved eller under 0 kr./t CO₂. Det skal understreges, at den CO₂-reducerende effekt ved ophobning i eksisterende skov ganske vist vil nå et højere niveau hurtigt, men også kan klinge hurtigere af når skovene er ved at indstille sig på det højere masseniveau. Til sammenligning svarer den årlige hugst på ca. 2 mio. m³ råtræ til en CO₂-mængde på 2,5 Mt/år. Det er altså tvivlsomt om det større samlede scenarium fra afsnit 3.3.3 kan betragtes som marginalt.

Såfremt brug af eksisterende skove i klimapolitikken i højere grad skal inddrages som et acceptabelt instrument, vil det være helt nødvendigt at udvikle en troværdig og monitorbar aftalestruktur. Det skal være muligt at indgå aftaler og kontrakter på landsniveau og/eller ejendomsniveau på en måde så det sikres, at der virkelig bliver tale om ekstraordinære tiltag, og så man om nødvendigt kan validere at disse tiltag finder sted og har den påståede effekt. Samtidig er det væsentligt at finde kontraktformer, der får løst den tilsyneladende forvirring (EU-kommisionen, 2003) omkring hvad der skal gøres når f.eks. en sink som en skovbevoksning afvikles. Det er væsentligt at forstå, at hvis man benytter sig af sinks i klimapolitikken skal fokus være på kun at kreditere CO₂-bindinger ud over det driftsøkonomisk optimale og kun at kreditere netto-bindingen da man ellers betaler for noget man ikke får. Der ses ofte forvirring om, hvordan det f.eks. skal håndteres hvis en skov etableres på landbrugsjord og siden fjernes for atter at bruge jorden til landbrug, eller hvis afdriften af en bevoksning udskydes, men i sidste ende alligevel effektueres. Skal skovejeren så betale penge tilbage, opkøbe CO₂-kreditter for at få lov til at fælde eller andet? Et simpelt eksempel i stil med dem i kapitel 3 kan illustrere hvordan problemet enkelt kan håndteres. Det er samme metode der er beskrevet i kapitel 1.3. Antag at en skovejer har en moden bevoksning på nogle hektar, hvor der er bundet i alt 1000 t CO₂. Bevoksningen er driftsøkonomisk afdriftsmoden. Forlænges omdriften med 10 år vil bevoksningen akkumulere 20 t CO₂ årligt således, at den ved det forsinkede endelige hugstidspunkt rummer 1200 t CO₂. Gevinsten for samfundet, CO₂-mæssigt, ved denne ændring er, idet der ses bort fra den udskudte etablering af den meget CO₂-fattige ny-kultur og for konsistensens skyld regnes med en rente på 6%:

$$1.000 + \sum_{t=1}^{10} \frac{20}{(1 + 0.06)^t} - \frac{1.200}{(1 + 0.06)^{10}} = 477 \text{ t CO}_2$$

Denne gevinst opstår ved, at der i en periode bindes mere CO₂ på arealet og ved at 'udslippet' udskydes. Det ses, at de 1200 t CO₂ indgår med et negativt fortegn. De skal altså modregnes skovejeren i hans kompensation. Det kontraktlige forhold mellem skovejeren og samfundet eller andre aktører kan indrettes på flere måder. Staten kan udregne den viste størrelse og forhandle med skovejeren om prisen. Skovejeren skal mindst have hans oplevede driftsøkonomiske tab ved tiltaget, og i praksis vil han kræve en pris tæt på CO₂-kreditprisen, hvis der eksisterer en sådan markedspris. Man kunne også forestille sig, at skovejeren tildeles retten til at udstede et CO₂-kreditbevis på 1000 t CO₂, som han ved den driftsøkonomiske omdriftsalder kan sælge på et evt. marked. De efterfølgende år kan han sælge beviser på 20 t CO₂, men i det 10. år skal han ud og *købe* beviser for 1200 t CO₂ for at få retten til at fælde bevoksningen tilbage. I mellemtiden har han tjent renter på de solgte beviser. Som det ses er der mange måder at indrette det kontraktuelle på. Det ses også, at det er oplagt, at skovejeren ved en reduktion i sinks skal betale for dette. Det vigtigste problem i dette eksempel er troværdighed og kontrol: Hvordan sikres det, at der ikke betales for ingenting – f.eks. skal det sikres, at man ikke godskrifter driftsøkonomisk optimale tiltag en særskilt CO₂-effekt. Det indebærer f.eks., at omdriftsforlængelser skal have en vis varighed og ikke kan regnes for påbegyndt før det med overvejende rimelighed kan regnes for sikkert, at yderligere forlængelser indebærer et driftsøkonomisk tab.

Både brug af skovrejsning og eksisterende skove som sinks er tiltag, der kan reducere netto-udslippet i Danmark på kort til mellemlang sigt, men som ikke kan reducere

udslippet permanent. Det kan imidlertid være velfærdsøkonomisk fornuftigt at benytte sig af mulighederne her, såfremt de kan leveres til en acceptabel pris. Samfundet sparer dermed midler nu, og vinder tid til at finde nye og mere effektive metoder til en permanent reduktion af CO₂-udslippet.

De danske skove leverer allerede i dag træ til bioenergi, og der er for nylig lavet en opgørelse af de fremtidige træressourcer tilgængelige til evt. øget bioenergiproduktion. Der er her tale om en substitutionseffekt, der for så vidt kan være permanente. Træ til bioenergi fortrænger som udgangspunkt fossile brændsler, og da det bundne CO₂ naturligt ville frigives til atmosfæren under alle omstændigheder – evt. med en forsinkelse – er bioenergien i store træk CO₂-neutral. Afhængig af hvilket udnyttelsesniveau, der i fremtiden kan og vil blive tale om er potentialet for substitution af fossile brændstoffer med træ fra danske skove estimeret til at være omkring 0,4-0,7 Mt CO₂/år. Den velfærdsøkonomiske omkostning ved en så stor forøgelse er ikke anslået i denne rapport. Estimer for marginale forøgelser i retningen af såvel brug af større sortimenter som brug af mindre sortimenter indikerer, at en vis forøgelse kan foretages stort set omkostningsfrit. Ved en større forøgelse vil brug af dansk træ blive dyrt, da de større sortimenter har væsentlig større marginal produktionsværdi i andre anvendelser. Der foregår imidlertid allerede en konkurrencedygtig import af råtræprodukter til bioenergi, og denne kan antageligt forøges for beskeden omkostninger. De ekstra CO₂-udslip ved skibstransport over selv længere afstande er forsvindende i forhold til substitutionseffekten i energisektoren.

Tabel 6.1 sammenfatter bidraget fra de forskellige tiltag beskrevet i denne redegørelse. De lave estimer vedrører potentialet for første forpligtelsesperiode, mens de høje estimer er den maksimale præstation indenfor perioden 2002-2040 givet de valgte scenarier. Dette gælder dog ikke for tiltag i eksisterende skov hvor potentialet er aftagende over tid. Det er med vilje ikke angivet omkostninger i denne tabel fordi som beskrevet varierer meget med det valgte tiltag og for visse tiltag kun er bestemt som marginale omkostninger. Til sammenligning er det samlede mål på 25 Mt CO₂/år som Regeringen opgør den årlige CO₂-udledning endnu skal reduceres med (Finansministeriet *et al.*, 2003) indføjet. De danske skove kan, afhængig af hvilke tiltag der gennemføres, afbøde 4-10% af denne målsætning. Det kan ske relativt billigt for de første dele af denne ophobning, men omkostningerne kan stige drastisk med ambitionerne.

Tabel 6.1 Skematisk oversigt over potentiale ved gennemførelse af de udvalgte scenarier. For øget bio-brændsel og øget skovrejsning gælder estimer for første forpligtelsesperiode, mens høje estimer angiver tiltagets toppræstation indenfor de nærmest 40 år. Det omvendte er tilfældet for eksisterende skov hvor effekten er størst i begyndelsen.

Art	Reduktions-interval
Samlet reduktionsbehov i Danmark	25 Mt CO ₂ /år
Skovrejsning, aktuelt aktivitetsniveau	0,28-1,27 Mt CO ₂ /år
Nye tiltag	
Øget skovrejsning	0,034-0,38 Mt CO ₂ /år
Øget ophobning i eksisterende skov	0,2 – 0,6 Mt CO ₂ /år
Øget brug af biobrændsel	0,4 – 0,7 Mt CO ₂ /år
I alt nye tiltag	0,6 - 1,5 Mt CO₂/år
I alt potentiale fra danske skove	0,8 - 2,7 Mt CO₂/år

Udover mulighederne for at benytte danske skove som sinks eller anvende bioenergi i Danmark eksisterer der muligheder for at reducere CO₂-udslippet ved at gennemføre projekter i udlandet i stedet, evt. også gennem skovrelaterede projekter eller bioenergi-projekter. Reduktioner opnået gennem sådanne aktiviteter kan i et vist omfang indgå i det nationale regnskab. Derudover eksisterer der en mulighed for at købe såkaldte CO₂-kreditter fra de lande der har fået tildelt større kvoter end deres aktuelle udslip nødvendiggør. Det er oplagt at potentialet her er meget stort. Eksisterende internationalt tilgængelige litteratur vedrørende omkostningerne ved sådanne projekter indikerer til og med at tilsyneladende kan være relativt billigt at gennemføre sådanne reduktioner. Praksis er dog endnu bagud i forhold til de hypotetiske analyser af potentialer. Den praktiske brug af denne form for aftaler hænger – i tråd med brug af eksisterende skove i Danmark – på udviklingen af troværdige, kontrollerbare og acceptable aftalestrukturer. Fraværet af disse er en af forklaringerne på, at det af det foreliggende forslag til direktiv om en ordning for handel med kvoter for drivhusgasemissioner i Fællesskabet, for så vidt angår Kyoto-protokollens projektmekanismer (EU-Kommisionen 2003) fremgår, at EU ikke vil acceptere at CDM eller JI projekter, der er rettet mod brug af sinks godskrives EU's medlemsstater, med mindre de indgås mellem-statsligt. Dermed begrænses skovrelaterede JI og CDM-projekter udført af EU-lande i nogen grad til projekter indenfor bioenergiområdet.

6.2 Bullet-liste med pointer og perspektiver

- Regeringen anslår at Danmark skal reducere CO₂-udslippet med 25 Mt CO₂/år
- Det forventede aktivitetsniveau i skovrejsningen bidrager med 0,28 Mt CO₂/år i første periode 2008-2012
- I 2040 vil den nuværende aktivitet bidrage med op til 1,27 Mt CO₂/år
- Øges skovrejsningstempoet de nærmeste 20 år med ca. 55% over det forventede bindes i 2040 yderligere 0,38 Mt CO₂/år.
- Den velfærdsøkonomiske omkostning er ca. –577 kr./t CO₂ ved bynær skovrejsning voksende til op til 911 kr./t CO₂ ved skovrejsning i intensive landbrugsområder.
- Ekstraordinær ophobning i eksisterende skove vil have en hurtigere umiddelbar effekt end skovrejsningen
- De marginale omkostninger ved ophobning i eksisterende skov er beskedne og varierer fra –244 til 265 kr./t CO₂.
- Det vurderes at ekstraordinær ophobning i de eksisterende skove af op 0,6 Mt CO₂/år kan foretages for omkostninger indenfor det nævnte interval.
- Det samlede potentiale for øget brug af træflis modsvarende en CO₂-reduktion på yderligere 0,4-0,7 Mt CO₂/år.

- Marginalomkostningerne ved at tilvejebringe yderligere træflis til energi vurderes at være beskedne og ikke meget over aktuelle produktions- og importpriser.
- Det samlede årlige potentielle reduktionsbidrag fra de danske skove udgør mellem 5 og 10% af Danmarks reduktionsmål
- Potentialet indenfor CDM og JI er væsentligt større, men det er aktuelt kun relevant at indgå skov-relaterede aftaler indenfor bioenergiområdet.
- Fordelen ved en bevidst brug af sinks som f.eks. nye og eksisterende skove, er en forsinkelse af udslip og muligheden for at teknologisk udvikling reducerer fremtidens omkostninger.
- En bevidst brug af sinks forudsætter, at der arbejdes målrettet mod udviklingen af en troværdig og kontrollerbar aftalestruktur
- Anvendelse af sinks bør som udgangspunkt kun godskrives, hvis der er tale om nye tiltag og specielt i eksisterende skove, tiltag der i øvrigt ikke er driftsøkonomisk optimale.
- Ophobning i eksisterende skov, der skyldes f.eks. skæve aldersstrukturer og lignende naturlig variation bør som udgangspunkt ikke godskrives.

7. Referencer

- Alig. R. J., D. M. Adams og B. A. McCarl (1998):* Ecological and economic impacts of forest policies: interactions across forestry and agriculture. *Ecological Economics* vol 27, 63-78
- Anonym (2003):* Project manual, joint implementation. Danish Energy Authority. Copenhagen. 107 pp.
- Anonym (2003b):* Carboncredits.nl Project Biomass Energy Portfolio for Czech Republic. Senter Internationaal, Enschede. 3 pp.
- Anthon, S. and B.J. Thorsen (2002):* Værdisætning af statslig skovrejsning. En husprisanalyse [Valuing afforestation – a hedonic approach]. Report for the Forest and Nature Agency, Ministry of Environment, Denmark, 57 pp.
- Butzengeiger S., R. Betz og S. Bode (2001):* Making GHG emissions trading work – crucial issues in designing national and international emissions trading systems. HWWA discussion paper 154. Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv, Hamburg institute of International Economics, Hamburg, Tyskland.
- Cannell, M. G. R. (2003):* Carbon sequestration and biomass energy offset: theoretical, potential and achievable capacities globally, in Europe and the UK. *Biomass and Bioenergy* 24 97-116.
- Chomitz, K. M., E. Brenes & L. Constantino (1998):* Financing Environmental Services: The Costa Rican experience and its implications, Environmentally and Socially Sustainable Development, Latin American and Caribbean Region, World Bank.
- Copenhagen Economics (2001):* Kvotehandel og kvotepriser -30 pp. København, Energistyrelsen, Økonomi- og Erhvervsministeriet.
- Copenhagen Economics (2002):* Kvotehandel og kvotepriser efter Bonn og marra-kech -20 pp. København, Energistyrelsen, Økonomi- og Erhvervsministeriet.
- Dansk Skovforening, (2001):* Regnskabsoversigt for dansk privatskovbrug. Beretning 55. Dansk Skovforening.
- Dansk Skovforening, Hedeselskabet, De Danske Skovdyrkerforeninger, Skov- og Naturstyrelsen (2000):* Skovøkonomiske tabeller [Forest Economic Tables]. Copenhagen, Dansk Skovforening, Hedeselskabet, De Danske Skovdyrkerforeninger, Skov- og Naturstyrelsen.

- DiNicola, A., D. J. Jones & G. Gray (1997):* Opportunities for Forestry Investment in Asia and the Pacific through Carbon Offset Initiatives, Asia-Pacific Forestry Sector Outlook Study Working Paper Series, Working Paper No: APFSOS/WP/29, Forestry Policy and Planning Division, Rome, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok.
- Danmarks Miljøundersøgelser (2000):* Vandmiljøplan II, Midtvejsevaluering. Danmarks Miljøundersøgelser og Dansk Jordbrugsforskning.
- Dubgaard, A. (1998):* Economic Valuation of Recreational Benefits from Danish Forests. I Dalbert et al. (eds.): The Economics of Landscape and Wildlife Conservation, CAB International, London.
- Dutschke M. (2001):* Permanence of CDM forests or non-permanence of land use related credits? HWWA discussion paper 134. Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv, Hamburg institute of International Economics, Hamburg, Tyskland.
- Dutschke M. (2002):* Sustainable forestry investment under the clean development mechanism. The Malaysian case. HWWA discussion paper 198. Hamburgisches Welt-Wirtschafts-Archiv, Hamburg institute of International Economics, Hamburg, Tyskland.
- EU-kommisionen (2003):* Forslag til Europa-parlamentets og –rådets direktiv om en ordning for handel med kvoter for drivhusgasemissioner i Fællesskabet, for så vidt angår Kyoto-protokollens projektmekanismer. Bruxelles, 23. juli 2003, 22 pp.
- Finansministeriet, Miljøministeriet, Skatteministeriet, Udenrigsministeriet, Økonomi- og Erhvervsministeriet (2003):* En omkostningseffektiv klimastrategi. www.fm.dk. 264 pp.
- Freeman, A. Myrick III. (1999):* The Measurement of the Environmental and Resource Values: Theory and Methods, Resources for the Future, Washington, D. C., U. S. A.
- Hanley, N., J. F. Shogren & B. White (1997):* Environmental Economics In Theory and Practice, Macmillan Press Ltd., London, England.
- IUCN (2002):* Carbon, Forest and People: Towards the integrated management of carbon sequestration, biodiversity and sustainable livelihoods
- Jensen L. M. (1999):* Ansøgere til privat skovrejsning i Ribe og Vejle amter. 1994-97. Tekniske bilag til Kirkebæk M og A. Thormann (2000): Evaluering af den gennemførte skovrejsning 1989-98. Skov- og Naturstyrelsen

- Jepma, C. J., W. P. van der Gaast & E. Woerdman (1998):* The Compatibility of Flexible Instruments under the Kyoto Protocol, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change, Report no.:410 200 026 (1998), Paterswolde, Holland.
- Johannsen, V. K. (1999):* A growth model for oak in Denmark. Department of Economics and Natural Resources. The Royal Veterinary and Agricultural University. Frederiksberg. 197 pp.
- Kägi, W. (2000):* Economics of Climate Change: The Contribution of Forestry Projects, Environment & Policy, Vol. 21, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holland.
- Kirkebak M. og A. Thormann (2000):* Evaluering af den gennemførte skovrejsning 1989-98. Skov- og Naturstyrelsen, Miljø- og Energiministeriet.
- Larsen, P. H. og V. K. Johansen (2002):* Skove og plantager 2000. Danmarks Statistik, Skov og Landskab og Skov- og Naturstyrelsen.
- Leary, R., Johannsen, V. K., Skovsgaard, J. P., Foerster, W. (2003):* A managed stand model for Norway spruce in Denmark. Forest Science Accepted.
- Lewis D. K., D. P. Turner and J. K. Winjum (1996):* An inventory-based procedure to estimate economic costs of management on a regional scale to conserve and sequester atmospheric carbon. Ecological Economics vol 16, 35-49
- Michaelowa, A. (1998):* Joint Implementation – the baseline issue. Economic and political aspects. Global Environmental Change, 8, 81-92
- Miljø- og Energiministeriet (1997):* Udvikling i den danske vandforsyningsstruktur. Arbejdsrapport nr. 62. Miljøstyrelsen, Miljø- og Energiministeriet. 227 s.
- Missfeldt F. og Haites E. (2001):* The potential contribution of sinks to meeting Kyoto Protocol commitments. Environmental Science and Policy vol. 4, 269-292.
- Møller F., S. P. Andersen, P. Grau, H. Huusom, T. Madsen, J. Nielsen og L. Standmark (2000):* Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøstyrelsen og Skov- og Naturstyrelsen.
- Nabuurs, G. J., Goede, D. M. D., Michie, B., Schehaas, M. J., Wesseling, J. G. (2002):* Long-term international impacts of nature-oriented forest management on European forests -an assessment with the Eficen model. Journal of World Forest Resource Management 9 101-129.
- Nord-Larsen, T., Heding, N. (2003):* Træbrændselsressourcer fra danske skove, prognose 2002. Dansk Skovbrugs Tidsskrift 87 1-72.

- Nord-Larsen (2003)*: Vækstmodel for bøg, foreløbige estimater. Upubliceret. Forskningscentret for Skov og Landskab.
- Regeringen (2003)*: Oplæg til klimastrategi for Danmark, februar 2003. www.fm.dk. 23 pp.
- Royal Society, The (2001)*: The role of land carbon sinks in mitigating global climate change. Policy document 10/01. The royal society, UK.
- Skov- og Naturstyrelsen (2001a)*: Samfundsøkonomisk projektvurdering af skovrejsning ved Vollerup. Rapport ved C. Damgaard, E. H. Erichsen og H. Huusom, 95 pp.
- Skov- og Naturstyrelsen, 2001b: Virksomhedsregnskab (2000)*: Skov- og Naturstyrelsen. Miljø- og Energiministeriet. København.
- Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske institut (2001)*: Landbrugsregnskabsstatistik 2000. Serie A nr. 85. Statens Jordbrugs- og Fiskeriøkonomiske Institut, Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri.
- Thorsen, B. J., Riis, J., Helles, F., Holten-Andersen, P. (1999)*: Internationalisation of Roundwood Markets - the Case of Denmark. Abildtrup, Jens, Helles, Finn, Holten-Andersen, Per, Larsen, Jakob Fromholt, and Thorsen, Bo Jellesmark. Modern Time Series Analysis in Forest Products Markets Forestry Sciences. 69-81. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), (1997)*: Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC, Kyoto, Japan.
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), (2001)*: The Marrakesh Accords & the Marrakesh Declaration, UNFCCC, Marrakesh, Marokko.
- Vliet, P.P.R. van, Faaij, A.P.C., Dieperink, C. (2003)*: Forestry projects under the clean development mechanism? Modelling the Uncertainties in Carbon Mitigation and Related Costs of Plantation Forestry Projects. Submitteret for Climatic change.
- Watson R. T., I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo og D. J. Dokken (2000)*: Land Use, land-use change and forestry : a special report of the IPCC. Cambridge University Press, GB.
- Woerdmann, E. (2001)*: Emissions trading and transaction costs: analyzing the flaws in the discussion, Ecological Economics, Vol. 38, 2001, pp. 293-204, Elsevier Science Ltd.

Woerdmann, E. & W. van der Gaast (2001): Project-based Emissions Trading: The Impact of Institutional Arrangements on Cost-effectiveness, Mitigation and Adaption Strategies for Global Change, Vol. 6, 2001, pp. 113-154, Kluwer Academic Publishers.

Yamagata, Y. & G. A.. Alexandrov (2001): Would forestation alleviate the burden of emission reduction? An assessment of the future carbon sink from ARD activities, Climate Policy, Vol. 1, 2001, pp. 27-40, Elsevier Science Ltd.